

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ПРЕЦЕДЕНТНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОПОРНО-ВОЗМУЩЕННОГО ДВИЖЕНИЯ

А. С. Добрынин, М. Ю. Гудков, Р. С. Койнов

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Кемеровская область, Новокузнецк, Российская Федерация*

Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) функционируют в сложных условиях постоянно изменяющихся многофакторных воздействий внешней среды. Такие системы целесообразно рассматривать как многорежимные нестационарные человеко-технические, поскольку они реализуют комплексное управление сложным технологическим объектом. Как правило, на эти системы воздействуют как факторы внешней среды, так и сложные человеко-машинные механизмы и технические средства (датчики, модули преобразования данных, программируемые контроллеры – PLC), которые составляют управляющую инфраструктуру, что в конечном итоге приводит к дополнительной сложности, а также появлению ошибок, возникновению дополнительных проблем управления и снижению общего качества управления. Утверждается, что подход к построению АСУТП должен быть основан на использовании эталонных библиотек и алгоритмов (прецедентов) управления, которые выбираются в зависимости от меняющихся условий внешней среды и используемых активов, а также материально-технического обеспечения. Несмотря на применение во многих системах современных программно-технических средств, таких как PLC, очень часто качество управления оставляет желать лучшего. Это происходит вследствие того, что объект управления изменяется со временем по разным причинам, а алгоритм управления остается неизменным, что приводит к снижению эффективности функционирования таких систем. Рассматривается обобщенная структура прецедентной АСУТП, в которой описывается подход к управлению технологическим объектом в рамках известной концепции опорно-возмущенного движения, которая подходит для построения систем управления технологическими объектами с существенной вариативностью входных воздействий.

Ключевые слова: прецедент, прецедентное управление, опорно-возмущенное движение, управляющая система, система управления.

Для цитирования: Добрынин А. С., Гудков М. Ю., Койнов Р. С. К вопросу построения прецедентных управляющих систем на основе опорно-возмущенного движения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 3. С. 17–24. DOI: 10.24143/2072-9502-2019-3-17-24.

Введение

В статье рассматривается прецедентный подход к управлению в АСУТП, который основывается на применении эталонных библиотек и алгоритмов управления, ранее реализованных и ретроспективно восстановленных при наступлении определенных событий (изменении входных и выходных воздействий). Большинство современных систем управления, во-первых, является многорежимными, во-вторых, функционируют в условиях изменяющихся входных и выходных (измеренных) воздействий. Такие изменения происходят достаточно часто вследствие смены климатических условий, качества сырья, нормативно-технической документации, законодательной базы, экологических требований и т. п. Очевидно, что во всех этих случаях может потребоваться корректировка управления, которое может быть ретроспективно восстановлено, при повторении определенной ситуации в прошлом (прецедентный подход). Фактически каждый алгоритм управления может быть ассоциирован с конкретной ситуацией (доменами, областями изменения входных и выходных величин), когда это управление допустимо. Применение этой концепции приводит к появлению нового класса прецедентных адаптивных систем управления, что важно для управления сложными нестационарными системами. Рассматривается прецедентный

подход к управлению сложными нестационарными системами. Применение прецедентного подхода в АСУТП позволяет корректировать управление в зависимости от характера входных и выходных воздействий, что приводит к повышению качества управления.

Элементы прецедентного управления

Получение точных математических моделей технологических объектов управления имеет важное значение для синтеза управляющих подсистем. Эти вопросы рассматриваются в разных разделах теории управления и научных публикациях [1, 2]. Следует отметить, что известные «классические» методы идентификации и синтеза систем управления работают ограниченно, поскольку реальные производственные объекты сложны, распределены территориально и нестационарны [3].

Некоторые вопросы построения систем управления сложными нестационарными объектами рассмотрены в работах [4, 5]. Очевидно, что управление нестационарным технологическим объектом, таким как доменная печь или ТЭЦ, может и должно изменяться во времени. Необходимость изменений в управлении вызвана в первую очередь различными режимами работы сложных технологических объектов, а также существенными изменениями параметров внешней среды. Предположим, существуют некоторые допустимые границы, в рамках которых управление может не изменяться, что часто встречается на практике. Подход с использованием доменной идентификации на основе ситуаций или состояний описан в работе [5]. Однако повторный запуск процедур идентификации при переходе нестационарной системы к новому состоянию (или возврате к предыдущему по причине, например, смены времени года) может быть связан с дополнительными накладными расходами и затратами при работе с реальным натурным объектом, поскольку запуск процедур идентификации может требовать нанесения дополнительных воздействий (в том числе тестовых) на объект.

Проиллюстрируем идею прецедентного управления на простом примере. Допустим, имеется набор конкретных состояний (среды и активов) или ситуаций $St \{st_i, i = 1, n\}$, для каждой из которых определены домены (граничные области) для отдельных компонентов вектора контролируемых возмущений $Dom_{st}(W_K^D)$ или заданы различные режимы работы объекта. Если для определенных состояний (ситуаций) определен алгоритм управления или его настроечные параметры известными методами идентификации, тогда возможно его сохранение и(или) извлечение из библиотеки прецедентов, при существенном изменении компонентов вектора W_K^D .

В работе [5] выделяется как минимум четыре причины, вследствие которых математическая модель нестационарного объекта (передаточная функция или модель состояний) будет изменяться:

1. Время.
2. Окружающая среда (включает природные условия, климат, погоду, времена года). Здесь нужно также отметить контролируемые и неконтролируемые внешние воздействия W_{HK}^D , W_K^D .
3. Активы (включая информацию). Различные активы могут оказывать трудно прогнозируемые воздействия на объект управления. К примеру, изменение качества угля или металлолома на металлургическом комбинате, сокращение штатов, изменение нормативной и регламентирующей документации, связанной с работой объекта управления, приводит к тому, что алгоритм управления также должен измениться. Целесообразно выделять укрупненные классификационные группы при описании активов разных классов.

4. Изменение и развитие. Смена целей, задач, стратегий и видения руководства, а также законодательной базы по отношению к объекту управления (например, ужесточение экологических норм при работе объекта).

Под воздействием возмущений изменяется сам объект управления, его параметры, что отражено в работе [1]. Таким образом, стандартное представление автоматизированного объекта управления в качестве общепринятой в технической литературе «вход-выходной» модели является не совсем корректным. Стандартное представление подразумевает некоторую «монолитность» объекта в текущем состоянии, однако его постоянно изменяют время, а также возмущающие и входные воздействия.

Обобщая вышесказанное, необходимо отметить, что модель нестационарного автоматизированного управления – это открытое множество различных вход-выходных моделей поведения, которое характеризуется определенными граничными условиями по контролируемому возмущением $\text{Dom}_{\text{ST}}(W_K^D)$ и используемым активам (в том числе входным материальным потокам) $\text{Dom}_{\text{ST}}(A)$, при выбранной схеме их классификации по качеству. Модель нестационарного объекта управления представлена выражением

$$\Phi^H = \{\varphi_1^H, St_1^H(\text{Dom}_{\text{ST}}(W_K^D), \text{Dom}_{\text{ST}}(A)); \dots; \varphi_n^H(\text{Dom}_{\text{ST}}(W_K^D), \text{Dom}_{\text{ST}}(A));\}, \quad (1)$$

где Φ^H – множественная модель нестационарного объекта управления, которая включает набор различных сменяющих друг друга моделей поведения в соответствии с изменением параметров многофакторной доменной среды, переходом из одного состояния в другое, где каждое состояние задается непересекающимся набором допустимых значений W_K^D . Если для каждого конкретного состояния натурального нестационарного объекта управления существует прецедент (алгоритм управления или библиотека), он может использоваться устройством управления (таким, как PLC).

Формирование граничных условий для состояния St_i^H можно формировать исходя из требований к качеству управления. Авторы рекомендуют использовать три основных стратегии:

- стратегия «точного» (робастного) управления. Колебания отдельных параметров вектора W_K^D относительно усредненных значений состояния St_i^H не превышают 10 %;
- стратегия «грубого» управления. Колебания отдельных параметров вектора W_K^D относительно усредненных значений состояния St_i^H не превышают 25 %;
- стратегия «смешанного» управления.

Структура прецедентной системы управления

Рассмотрим понятие прецедента в системе управления. Под прецедентом будем понимать управляющее воздействие (решение, алгоритм), которое сформировано и применено ранее в ситуации, аналогичной текущей, характеризующейся определенными значениями выходных переменных, переменных состояния и возмущающих воздействий объекта управления. Таким образом, либо определенные прецеденты уже возникали когда-нибудь в прошлом, либо они могут возникнуть в будущем. Функционирование системы управления предполагает, что с течением времени будет накапливаться опыт ее эксплуатации в различных условиях. Дальнейшая эксплуатация системы приведет к наполнению библиотеки прецедентов актуальной информацией в зависимости от ситуаций, в которых оказывается система. Помимо самих прецедентов в библиотеке также необходимо хранить правила и допустимые параметры внешней среды (которые можно измерить), при изменении которых меняется алгоритм управления.

Первоначально при вводе в эксплуатацию системы управления библиотека прецедентов содержит только необходимый минимум прецедентов, однако по мере функционирования эта библиотека наполняется дополнительными данными. К основным операциям работы с прецедентами относятся:

- извлечение из библиотеки прецедентов подобного прецедента или подмножества прецедентов, соответствующих ситуации, в которой требуется принять очередное (новое) решение;
- повторное использование извлеченного прецедента (прецедентов) для принятия очередного решения;
- пересмотр (коррекция) в случае необходимости прецедентного решения в соответствии с рассматриваемой (очередной) задачей (проблемой);
- сохранение вновь принятого решения как части нового прецедента (для будущих аналогичных ситуаций).

Применение прецедентного подхода позволяет использовать эффективные сценарии адаптивного управления на практике, когда алгоритм управления выбирается в зависимости от условий внешней среды и режимов работы объекта. Правила выбора и применения конкретного прецедента $pr_j \in Pr$ определяются путем сопоставления измеренных значений внешней среды и входных информационных и материальных потоков с допустимыми диапазонами

значений, которые определены для конкретных ситуаций $st_j \in St$, затем выбирается управляющее воздействие (алгоритм) или производится подстройка настроечных параметров для известного закона регулирования.

Прецедентную систему управления можно представить с позиций опорного и возмущенного поведения (по аналогии с известным подходом для летательных аппаратов), которая подразумевает два режима работы:

- опорный режим работы. Основным режимом работы, подразумевается, что измеренные параметры контролируемых возмущений и материальных потоков находятся в пределах допустимых граничных значений. Библиотека прецедентов содержит алгоритмы управления, соответствующие известным конкретным состояниям (среды и активов) st_i ;

- возмущенный режим работы. Режим работы в условиях существенного изменения значений векторных компонент возмущений и активов, когда измеренные параметры находятся за пределами допустимых значений. Библиотека прецедентов не содержит алгоритмов управления, соответствующих текущему возмущенному состоянию st_j^k .

На рис. 1 приведена схема системы прецедентного управления с использованием концепции опорного и возмущенного поведения.

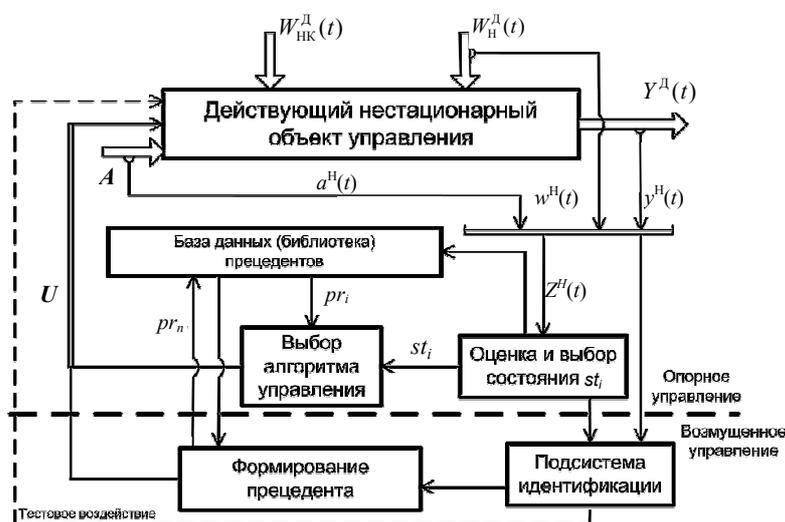


Рис. 1. Структура прецедентной системы управления (опорно-возмущенное движение):

$Y^Д(t)$, U , $W_{НК}^Д(t)$, $W_{Н}^Д(t)$ – действительные выходные воздействия, внешние неконтролируемые и контролируемые возмущающие воздействия; U – вектор управляющих воздействий; $\{pr_i, i = 1, N\}$ – ранее реализованные, высококачественные управляющие решения (прецеденты), которые можно применять для определенного состояния st_i системы управления; $z^H(t)$ – обобщенный (консолидирующий) вектор натуральных сигналов $\{a^H(t), w^H(t), y^H(t)\}$, где $a^H(t)$ – вектор оценки активов и входных материальных потоков в системе управления

Блок оценки и выбора состояний осуществляет анализ параметров на основе измеренных значений параметров среды и принимает решение о выборе состояния и прецедента, который используется для управления.

Таким образом, в каждом цикле управления выполняются определенные типовые операции, которые связаны с измерением выходных переменных, параметров окружающей среды и выбора оптимального управления.

Концепция прецедентной системы управления на основе опорно-возмущенного движения предполагает, что при опорном движении управление осуществляется по известному фиксированному набору конкретных состояний, которые уже отражены в базе прецедентов. В случае

перехода системы в новые состояния (вследствие существенных изменений внешней среды) используется возмущенное движение, которое предполагает формирование нового управления (прецедента) или ретроспективной оптимизации старого с учетом изменений.

Содержательное описание принципа прецедентного управления представлено ниже:

Шаг 1. Осуществляется ввод измеренных значений выходных переменных $\{y_j(t_i = T)\}$, значений управляющих воздействий U , а также измеренных величин контролируемых возмущений $W_n^D(t)$ в подсистему хранения и выбора прецедентов.

Шаг 2. Проверяется, попадают ли измеренные параметры в диапазоны допустимых значений для ранее сформированных состояний. Определение состояния осуществляется с использованием подхода доменной классификации, когда выбор st_i производится на основе «максимального соответствия» допустимых значений диапазонов в многофакторной среде.

Шаг 3. Каждому допустимому состоянию st_i соответствует связанный с ним конкретный прецедент pr_i (алгоритм управления), в случае отсутствия допустимого состояния запускается процедура идентификации и ретроспективной оптимизации управления (возмущенное движение), в результате чего формируется новый прецедент (алгоритм и условия, при которых он может быть применен).

Шаг 4. Выбор прецедента pr_i (алгоритма управления) в зависимости от текущей ситуации.

Представленный выше подход является реализацией идеи адаптивного управления в условиях постоянно изменяющейся внешней среды.

Укрупненная схема процесса прецедентного управления представлена на рис. 2.

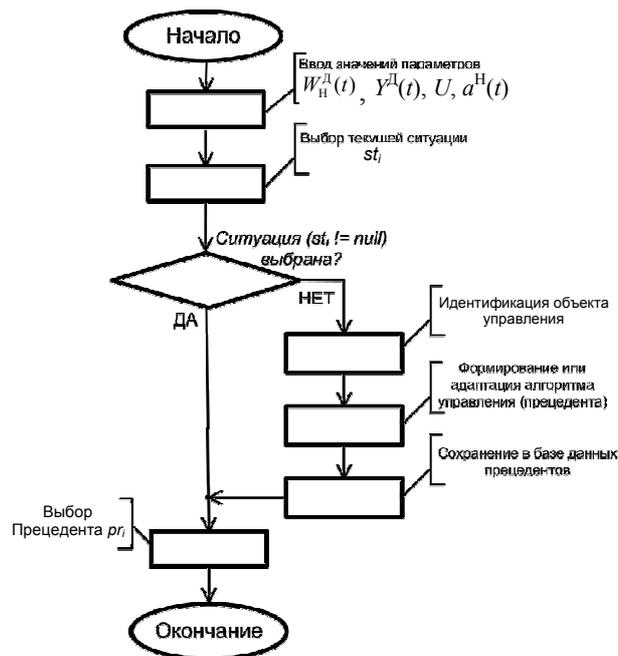


Рис. 2. Подход к управлению на основе прецедентов

Как видно из схемы, переключение управления осуществляется при смене ситуаций. По мере функционирования системы осуществляется наполнение базы данных прецедентов новой информацией, что способствует повышению качества управления.

Внедрение системы управления на основе прецедентов применительно к Западно-Сибирской ТЭЦ – филиалу АО «ЕВРАЗ ЗСМК» – привело к следующим результатам:

- повысилось качество управления;
- снизились затраты на управление;
- появилась возможность использования точной настройки законов управления при изменении условий функционирования объекта и параметров внешних возмущений.

Заключение

Приведена структура прецедентной системы управления на основе опорно-возмущенного движения, которая позволяет подстраиваться под изменяющиеся условия функционирования объекта. Прецедентный подход к управлению позволяет осуществлять более тонкую настройку управляющих подсистем АСУТП по сравнению с более традиционными подходами. Внедрение элементов прецедентного управления непосредственно на уровне программируемых логических контроллеров позволяет осуществлять адаптивное управление как в режиме реального времени, так и в режиме «пассивного советчика», когда программный комплекс информирует оператора-технолога о необходимости принятия определенного решения.

Внедрение системы управления на основе прецедентов применительно к Западно-Сибирской ТЭЦ (филиалу АО «ЕВРАЗ ЗСМК») позволило повысить качество управления, снизить затраты на управление, использовать точную настройку законов управления при изменении условий функционирования объекта и параметров внешних возмущений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авдеев В. П.* Построение моделей в системах управления // Изв. вузов. Черная металлургия. 1981. № 12. С. 100–105.
2. *Веревкин В. И., Авдеев В. П., Лакунцов А. В., Бурдонов Б. А., Катрич А. П.* Нанесение экспериментальных воздействий на прогнозируемые рабочие управления // Изв. вузов. Черная металлургия. 1975. № 6. С. 163–166.
3. *Емельянов С. В., Коровин С. К.* Новые типы обратной связи: управление при неопределенности. М.: Наука; Физматлит, 1997. 352 с.
4. *Добрынин А. С., Кулаков С. М., Пургина М. В., Койнов Р. С.* О применении графовых моделей в системах автоматизации сложных нестационарных технологических объектов // Кибернетика и программирование. 2018. № 3. С. 63–71. DOI: 10.25136/2306-4196.2018.3.26400.
5. *Добрынин А. С., Койнов Р. С., Кулаков С. М., Гудков М. Ю.* О доменной (ситуационной) идентификации сложных нестационарных технологических объектов // Кибернетика и программирование. 2018. № 4. С. 52–59. DOI: 10.25136/2306-4196.2018.4.26861.
6. *Авдеев В. П., Карташев В. Я., Мышляев Л. П., Еришов А. А.* Восстановительно-прогнозирующие системы управления. Кемерово: Изд-во КемГУ, 1984. 89 с.
7. *Авдеев В. П., Мышляев Л. П., Соловьев В. Н.* О восстановительно-прогнозирующем регулировании технологических процессов // Изв. вузов. Черная металлургия. 1978. № 10. С. 165–168.
8. *Зимин В. В., Ивушкин А. А., Кулаков С. М., Ивушкин К. А.* Основы управления жизненным циклом сервисов систем информатики и автоматизации (лучшие практики ITIL): учеб. пособие. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2013. 500 с.
9. *Теркель Д.* OLE for Process Control – свобода выбора // Современные технологии автоматизации. 1999. № 3. С. 28–32.

Статья поступила в редакцию 08.06.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Добрынин Алексей Сергеевич – Россия, 654041, Кемеровская область, Новокузнецк; Сибирский государственный индустриальный университет; старший преподаватель кафедры автоматизации и информационных систем; sergentfly@mail.ru.

Гудков Михаил Юрьевич – Россия, 654041, Кемеровская область, Новокузнецк; Сибирский государственный индустриальный университет; старший преподаватель кафедры автоматизации и информационных систем; 22goodkoff@gmail.com.

Койнов Роман Сергеевич – Россия, 654041, Кемеровская область, Новокузнецк; Сибирский государственный индустриальный университет; старший преподаватель кафедры автоматизации и информационных систем; koynov_rs@mail.ru.



**TO THE QUESTION OF BUILDING
PRECEDENTIAL CONTROL SYSTEMS
BASED ON SUPPORT-DISTURBED MOVEMENT**

A. S. Dobrynin, M. Yu. Gudkov, R. S. Koinov

*Siberian State Industrial University,
Kemerovo region, Novokuznetsk, Russian Federation*

Abstract. The article considers the problem of the modern automated control systems which operate in the difficult conditions of constantly changing multi-factorial effects of the environment. Such systems should be considered as multi-mode, non-stationary human-technical systems, since they realize the integrated management of a complex technological object. As a rule, these systems are influenced by both environmental factors and complex man-machine mechanisms and technical means (such as communication devices with an object, programmable controllers - PLC), which constitute the control infrastructure, which ultimately leads to additional complexity and errors, additional management problems and reduced overall management quality. The approach to building an automated process control system is claimed to be based on using reference libraries and control algorithms (precedents), which are selected depending on the changing environmental conditions and the assets used, as well as on the logistics support. Despite the use of modern software and hardware in many systems, such as PLC, very often the quality of control leaves much to be desired. This is due to the fact that the control object changes over time for various reasons, and the control algorithm remains unchanged, which leads to a decrease in the efficiency of functioning of such systems. The generalized structure of the precedent process control system is described, which highlights the approach to the control of a technological object within the framework of the well-known concept of support-disturbed movement, which is suitable for building robust control systems for technological objects with substantial nonstationarity.

Key words: precedent, precedential management, support-disturbed movement, control system, control system.

For citation: Dobrynin A. S., Gudkov M. Yu., Koinov R. S. To the question of building precedential control systems based on support-disturbed movement. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2019;3:17-24. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2019-3-17-24.

REFERENCES

1. Avdeev V. P. Postroenie modelej v sistemah upravleniya [Building models in control systems]. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*, 1981, no. 12, pp. 100-105.
2. Verevkin V. I., Avdeev V. P., Lakuncov A. V., Burdonov B. A., Katrich A. P. Nanesenie eksperimental'nyh vozdeystvij na prognoziruemye rabochie upravleniya [Putting experimental impacts on projected workmanships]. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*, 1975, no. 6, pp. 163-166.
3. Emel'yanov S. V., Korovin S. K. *Novye tipy obratnoj svyazi: upravlenie pri neopredelennosti* [New types of feedback: managing under uncertainty]. Moscow, Nauka Publ.; Fizmatlit Publ., 1997. 352 p.
4. Dobrynin A. S., Kulakov S. M., Purgina M. V., Kojnov R. S. O primenenii grafovnyh modelej v sistemah avtomatizacii slozhnyh nestacionarnykh tekhnologicheskikh ob"ektov [On using graph models in automation systems of complex non-stationary technological objects]. *Kibernetika i programirovanie*, 2018, no. 3, pp. 63-71. DOI: 10.25136/2306-4196.2018.3.26400.
5. Dobrynin A. S., Kojnov R. S., Kulakov S. M., Gudkov M. Yu. O domennoj (situacionnoj) identifikacii slozhnyh nestacionarnykh tekhnologicheskikh ob"ektov [On domain (situational) identification of complex non-stationary technological objects]. *Kibernetika i programirovanie*, 2018, no. 4, pp. 52-59. DOI: 10.25136/2306-4196.2018.4.26861.
6. Avdeev V. P., Kartashev V. Ya., Myshlyaev L. P., Ershov A. A. *Vosstanovitel'no-prognoziryushchie sistemy upravleniya* [Recovery predictive management systems]. Kemerovo, Izd-vo KemGU, 1984. 89 p.
7. Avdeev V. P., Myshlyaev L. P., Solov'ev V. N. O vosstanovitel'no-prognoziryushchem regulirovanii tekhnologicheskikh processov [On restoration and predictive regulation of technological processes]. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*, 1978, no. 10, pp. 165-168.
8. Zimin V. V., Ivushkin A. A., Kulakov S. M., Ivushkin K. A. *Osnovy upravleniya zhiznennym ciklom servisov sistem informatiki i avtomatizacii (luchshie praktiki ITIL): uchebnoe posobie* [Principles of lifecycle management services of informatic and automation systems (best ITIL practices): teaching guide]. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 2013. 500 p.

9. Terkel' D. OLE for Process Control – svoboda vybora [OLE for process control as freedom of choice]. *Sovremennye tekhnologii avtomatizacii*, 1999, no. 3, pp. 28-32.

The article submitted to the editors 08.06.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dobrynin Alexey Sergeevich – Russia, 654041, Kemerovo region, Novokuznetsk; Siberian State Industrial University; Senior Lecturer of the Department of Automation and Information Systems; serpentfly@mail.ru.

Gudkov Mikhail Yurievich – Russia, 654041, Kemerovo region, Novokuznetsk; Siberian State Industrial University; Senior Lecturer of the Department of Automation and Information Systems; 22goodkoff@gmail.com.

Koynov Roman Sergeevich – Russia, 654041, Kemerovo region, Novokuznetsk; Siberian State Industrial University; Senior Lecturer of the Department of Automation and Information Systems; koynov_rs@mail.ru.

