

Бурый А.С., Шевкунов М.А. Прикладные аспекты автоматизации управления летающими роботами [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2015. – № 6(28). Режим доступа http://iea.gostinfo.ru/files/2015_06/2015_06_02.pdf

УДК 621.865.8: 519.7

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАЮЩИМИ РОБОТАМИ

Бурый А.С., доктор технических наук, Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»)

Шевкунов М.А., соискатель, Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»)

В статье рассматриваются вопросы автоматизации в эргатических системах управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) в целях предупреждения и устранения последствий нештатных ситуаций. Предложен подход к классификации нештатных ситуаций на основе формализма мультимножеств.

Ключевые слова: эргатическая система, беспилотный летательный аппарат, мультимножество, техническое состояние, нештатная ситуация, аварийная ситуация.

UDC 621.865.8: 519.7

APPLIED ASPECTS OF AUTOMATION CONTROL FLYING ROBOT

Buryu A.S., doctor of technical sciences, FSUE «STANDARTINFORM»

Shevkuinov M.A., FSUE «STANDARTINFORM»

The article deals with the automation control systems ergatic unmanned aerial vehicles (UAVs) for the prevention and elimination of consequences of emergency situations. An approach to the classification of emergency situations on the basis of the formalism of multisets.

Keywords: ergatic system, unmanned aerial vehicle, multiset, technical condition, an emergency situation, an emergency situation.

В настоящее время при постоянном росте числа задач автономного управления бортовым оборудованием летательных объектов сохраняется роль автоматизированных этапов управления беспилотными летательными

аппаратами (БПЛА), что выдвигает определенные требования к системе управления объекта в целом. Одной из причин этого, на наш взгляд, является постоянное расширение круга задач, решаемых с помощью БПЛА. Кроме определенных военных задач, мобильные роботы все активнее применяются во многих сферах жизнедеятельности. Это мониторинг окружающей среды, контроль сельхозугодий, поиск терпящих бедствие, контроль нефтяных трубопроводов, исследование мирового океана и многие другие задачи. Так, например, в транспорте, по прогнозам американской консалтинговой компании HIS Automotive, к 2035 г. на автомагистралях мира будут функционировать около 54 млн. автомашин без управления человеком (с автопилотом), удельный вес в продажах которых возрастет до 9% [1].

Мировой рынок беспилотных летательных аппаратов сохраняет тенденцию постоянного роста и составит в текущем десятилетии (2014-2023 гг.) 35,6 млрд. долл. [2] при абсолютном лидерстве США. На рисунке 1 показаны доли различных типов БПЛА в общем производстве, отмеченного выше.

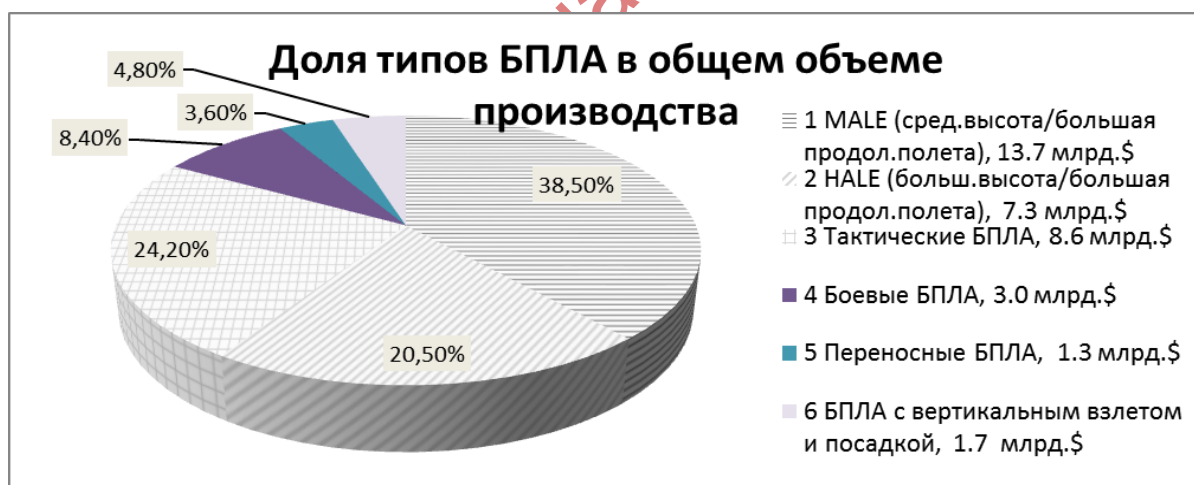


Рис.1. Производство БПЛА по типам в 2014-2018 г.г. (млрд. долл.)

Относительно представленных на рис.1 типов БПЛА следует отметить тот факт, что вместе с увеличением автономности функционирования этих типов аппаратов, продолжает активно расширяться сфера применения легких и сверхлегких беспилотных объектов, за счет миниатюризации бортовой аппаратуры, что также предполагает расширение функций оператора на этапах активного управления полетом [3].

В практике эксплуатации летательных объектов вопросам надежности, контролю технического состояния постоянно уделяется неослабленное внимание на протяжении всего жизненного цикла авиационной техники [4]. Однако, на фоне совершенствования технического оснащения летательных объектов, систем управления полетом, систем навигации и других вспомогательных подсистем, актуальной остается безопасная эксплуатация, осуществляемая эргатическими системами и комплексами управления.

Под эргатической системой (ЭргС) будем понимать сложную систему управления объектами технических, технологических или организационных комплексов, в которой главным компонентом управляющей системы является человек-оператор, характеризующийся функциональной активностью и функциональным гомеостазисом на множестве функциональных возможностей в условиях динамически изменяющейся внешней среды [5,6]. К данному классу систем относятся автоматизированные системы управления в разнообразных отраслях производственной сферы, управляемый человеком транспорт (автомобильный, железнодорожный, аэрокосмический, водный), системы дистанционного управления мобильными робототехническими комплексами, радиолокационными станциями и другие. Функционирование современных ЭргС протекает в динамичной и потенциально опасной внешней среде, в условиях жестких требований к правильности и качеству принимаемых оперативных решений, что закономерно порождает негативные факторы для человека-оператора, за счет сенсорных, эмоциональных и интеллектуальных перегрузок [7].

Среди основных требований к построению ЭргС в автоматизированных контурах управления БПЛА отметим следующие:

1. Способность к компенсации (парированию) непреднамеренных действий (бездействий) человека-оператора, которые могут привести к неприемлемым последствиям;
2. Наличие блока прогноза и индикации действий оператора, которые могут способствовать возникновению аварийной ситуации;

3. Способность объекта управления к самоорганизации и автономному решению задач в случае срыва управления оператором на любом этапе полета [8,9];
4. Разработка базы сценариев для формирования подсказок оператору на любом этапе управления для выбора поведения в сложившейся обстановке.

В таком подходе оператор является главным и наиболее критичным компонентом системы, благодаря так называемому «человеческому фактору». По существующей статистике на долю человеческого фактора приходится от 70% до 80% всех авиационных происшествий [10]. Из них около 65% – это ошибки и неправильные действия летного состава. Как правило, ошибки появляются при возникновении нештатных ситуаций (НШС), когда требуется в ограниченное время и в условиях стресса оценить ситуацию и принять единственно правильное решение. Практика эксплуатации авиационной техники показывает, что уменьшение числа ручных операций не приводит к снижению ментальной нагрузки на оператора. Автоматика требует постоянного внимания, акцент перемещается с исполнительных действий на программирование, планирование, принятие решений [11]. В таких случаях на первое место в обеспечении безопасности полета выходит система поддержки принятия решений (СППР), которая, по сути, является автоматизированным экспертом-помощником в выборе решений оператором (руководителем) на этапах анализа условий полета, формирования возможных вариантов сценариев действий, выбора лучшего из них и оценки результатов принятого решения.

Далее рассмотрим, какие ситуации являются нештатными для летательных аппаратов, классифицируем их, проанализируем современные системы предотвращения НШС и выделим проблемные моменты в вопросах построения СППР применительно к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА), основываясь на опыте пилотируемой авиации и космонавтики.

Под нештатной ситуацией будем понимать состояние технического комплекса, его составных частей и привлекаемых средств, а также условий полета, не предусмотренные программой штатного функционирования [12].

По аналогии с авиационными правилами можно классифицировать нештатные ситуации БПЛА с использованием следующих критериев [13]:

- ухудшение летных характеристик, устойчивости и управляемости, прочности и работы систем;
- увеличение рабочей (психофизиологической) нагрузки на оператора сверхнормативно требуемого уровня.

По степени опасности выделяют следующие нештатные ситуации [14]:

- 1) усложнение условий полета (УУП), при небольших ухудшениях характеристик режимов функционирования или незначительном увеличении рабочей нагрузки на оператора;
- 2) сложная ситуация (СС), характеризующаяся заметным ухудшением характеристик и/или выходом одного, либо нескольких параметров за эксплуатационные ограничения, но без достижения предельных ограничений, или уменьшением способности оператора справиться с возникшей ситуацией как вследствие увеличения рабочей нагрузки, так и из-за условий, понижающих эффективность действий оператора;
- 3) аварийная ситуация (АС), характеризуется значительным ухудшением характеристик и/или достижением (превышением) предельных ограничений, или физическим утомлением, когда оператор предсказуемо не выполнит свои задачи точно и полностью;
- 4) катастрофическая ситуация (КС), при возникновении которой, предотвращение гибели БПЛА практически невозможно.

Причинами возникновения НШС могут являться отказы и неисправности отдельных элементов, агрегатов, функциональных систем, неблагоприятные внешние условия эксплуатации, а также ошибочные действия оператора при управлении БПЛА с нарушением правил эксплуатации функциональных систем.

Выявление НШС является важной составляющей обеспечения безопасности функционирования бортового комплекса и осуществляется по результатам анализа возможных опасностей, отказов, по ряду диагностических функций [15] и ошибок операторов. Разработка перечня НШС, методов их идентификации проводится с целью предотвращения возможных последствий НШС, приводящих к нарушениям нормальных режимов функционирования элементов бортового комплекса, то есть, парирование последствий возникающих нарушений и исключение их перерастания в аварийные и катастрофические ситуации [12]. НШС рассматриваются для всех этапов полета. В ряде случаев НШС анализируется для фиксированного момента, когда возможность их появления связана с работой системы или агрегата в этот момент. Так же целый ряд НШС не локализируются внутри блоков, в которых они возникли, а вызывают цепные и даже каскадные отказы в связанных с ними системах и агрегатах.

Решение задачи идентификации и проведение мероприятий по парированию последствий возникающих НШС производится с помощью специальной подготовки оператора БПЛА и использования на борту специальных систем автоматического контроля, управления и информационной поддержки оператора.

В настоящее время не существует полноценной СППР, способной своевременно обнаружить, а тем более предсказать, первоисточник возникновения НШС, выявить его причины и построить эффективные корректирующие воздействия по парированию развивающейся ситуации. Современные специальные бортовые системы контролируют только отдельные наиболее критические параметры полета и работают по факту наступления события, когда, фактически НШС уже произошла.

Таким образом, задача построения СППР оператором при управлении БПЛА в условиях нештатных ситуаций также актуальна, как и для пилотируемой авиации. Основными функциями, которыми должна обладать такая СППР являются: своевременное или заблаговременное обнаружение

НШС и информирование оператора БПЛА, помощь в анализе ситуации и принятии оперативных решений, а так же автоматизация формирования парирующих действий. При этом, чем выше критичность ситуации, тем большую нагрузку по парированию ситуации должна брать на себя СППР, оставляя оператору только функцию выбора между возможными вариантами решения. В крайне тяжелых ситуациях, когда оператор не может принимать решения, система должна переводить контроль БПЛА полностью на себя.

Управление БПЛА является системой жесткого реального времени, в которой информационные потоки обладают свойствами высокой динамики, случайности времени поступления, разнородности формы представления. Кроме этого, эти потоки значительны по объему. Поэтому эффективность СППР будем определять по критериям максимума объема получаемой информации, быстродействия ее обработки, при минимизации непроизводительных затрат и последствий от наступившей нештатной ситуации.

В постановочном плане задачу распознавания состояния БПЛА сформулируем следующим образом. Известен вектор контролируемых параметров, характеризующих состояние контролируемого объекта (БПЛА) $X = (x_1, x_2, \dots, x_r)$, где r – количество контролируемых параметров, вектор наблюдений $Y(t)$. Объект наблюдения может находиться в одном из состояний (АС, СС, УУП и т.д., в том числе и штатном), составляющих полную группу событий, которые будем называть альтернативными гипотезами $W = (W_1, W_2, \dots, W_E)$, где E - число гипотез. В число возможных состояний целесообразно включить и такие, когда существует вероятность отказа, например, предаварийные состояния. В таких состояниях СППР может обеспечить преждевременное обнаружение нештатных ситуаций БПЛА, что приведет к уменьшению вероятности возникновения нештатной ситуации или парированию последствий возникшей НШС и исключению ее перерастания в более критичные формы за счет обеспечения оператора запасом времени на окончательное принятие решения и выполнение действий для реализации этого решения. Оценку вероятностей возникновения НШС в процессе управления

целесообразно проводить с учетом основных этапов полета, состава оборудования, привлекаемого на конкретном этапе функционирования БПЛА.

Задача состоит в том, чтобы по наблюдаемому на определенный момент времени t вектору $Y(t)$ определить состояние БПЛА.

Для решения данной задачи, когда имеются разнообразные данные (количественные и качественные), воспользуемся формализацией на основе аппарата мультимножеств [16] или множеств с повторяющимися элементами.

Каждая гипотеза W_i может быть описана мультимножеством [17,18] ~~$W_i = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$~~ , где $k_{\psi_i}(x)$ - функция кратности, т.е. число одинаковых элементов x_i в соответствующем мультимножестве. Символ \bullet обозначает кратность вхождения элемента в компоненту $k_{\psi_i}(x) \bullet x$, а $Z^+ = \{0,1,2,\dots\}$ - множество неотрицательных чисел. По полученному измерению $Y(t)$ формируем на основе мультимножественного представления энтропийные оценки для всех гипотез W [18], а окончательный выбор гипотезы осуществляем, выбрав из двух наименьших энтропийных оценок ту гипотезу, в которой весовой коэффициент частного решения больше (контролируемый параметр более значим).

Главной проблемой в таком подходе является перебор вариантов за приемлемое время, ведь в разных ситуациях по мере возрастания их критичности увеличивается время запаздывания в формировании управляющих воздействий.

Проблема нарастающего количества информации при повышении степени опасности НШС в условиях жестких временных ограничений на принятие решения относится к одной из важнейших проблем и должна решаться комплексно. С учетом [19] исследование проблемы можно разбить на несколько этапов (рисунок 2).

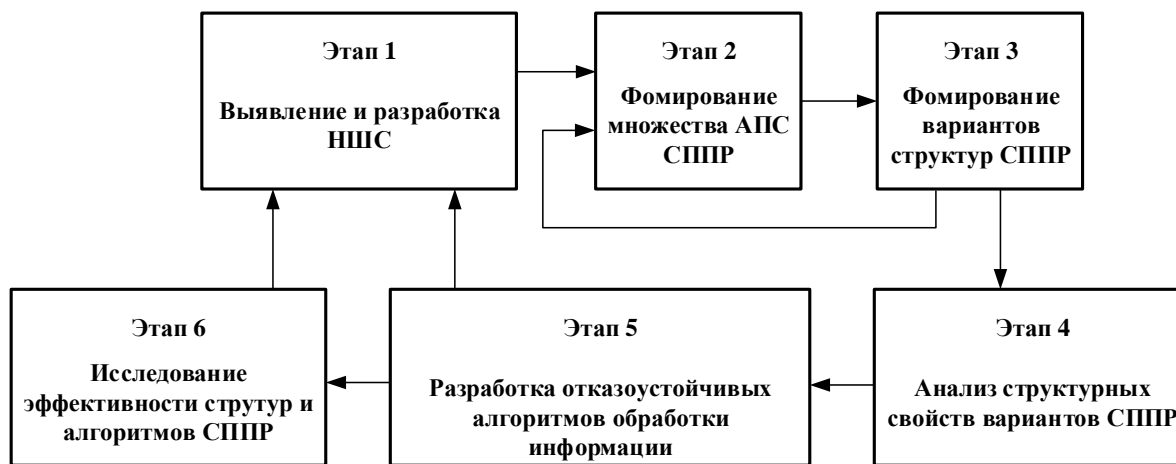


Рис. 2. Схема исследования проблемы нарастающего количества информации при повышении степени опасности НШС в условиях жестких временных ограничений

На первом этапе проводится выявление НШС по результатам анализа возможных опасностей, отказов потерь функций бортовых систем и ошибок операторов. Разработка НШС проводится с целью определения возможных последствий, классификации НШС, методов идентификации, мероприятий и минимально необходимого времени по выходу из таких ситуаций.

На втором этапе осуществляется формирование множества аппаратно-программных средств (измерительные и вычислительные комплексы, средства передачи данных, программные комплексы, отдельные алгоритмы).

На третьем этапе производится образование структур СППР с учетом количества этапов переработки, уровней цикличности в получении информации, уровней резервирования на основе решения задач декомпозиции и агрегирования процесса переработки данных.

На этапе 4 для каждого варианта структуры определяются системные свойства (наблюдаемость, агрегируемость, сложность), а также уровень максимально допустимой ошибки идентификации ситуации. Из множества вариантов выбирается структура, удовлетворяющая заданным требованиям.

На пятом этапе строятся отказоустойчивые алгоритмы обработки получаемой информации. С целью сокращения вычислительных затрат и получения оптимальной точности при максимальном быстродействии используются алгоритмы компрессии измерительных данных.

На этап 6 исследуется эффективность полученных алгоритмов и технических структур по совокупным показателям (информационная нагрузка, точность, надежность, оперативность, структурная устойчивость) [20].

Таким образом, поэтапное решение проблемы нарастающего количества информации при повышении степени опасности НШС в условиях жестких временных ограничений позволяет строить процедуры принятия решений оператором БПЛА с учетом своевременного и адекватного парирования возникающих нештатных ситуаций. Развитие методологии прогнозирования надежности БПЛА позволит выработать систему стандартов по их безопасному использованию, основываясь на принципе консенсуса между всеми заинтересованными сторонами [21-24], информированности потребителей [25], соблюдения принципов информационной безопасности управления [26]. Как показывает мировая практика, именно своевременное, адекватное и не налагающее излишних ограничений рынка инновационной продукции приводит к его оживлению [27-31], и применительно к данному вопросу может вывести Россию на лидирующие мировые позиции по производству и применению БПЛА.

Список использованных источников и литературы

1. Эксперты предсказывают рост популярности машин с автопилотом [Электронный ресурс] // Режим доступа <http://carfor.ru/n/1775.html> (дата обращения: 20.10.2015).

2. Мировой рынок беспилотников // Военное обозрение [Электронный ресурс] Режим доступа <http://topwar.ru/38994-mirovoy-rynok-besplotnikov.html> (дата обращения: 20.10.2015).

3. Митин М.Д., Никольский Д.Б. Современные тенденции развития отрасли беспилотных летательных аппаратов // Геоматика. 2013. – № 4. – С.27-31.

4. Изделия авиационной техники. Безопасность полета, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность. Порядок нормирования и контроля показателей: ГОСТ Р 56081-2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 8 с.

5. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. – 2-е изд., испр. и доп. / Д.А. Ловцов. – М.: Наука, 2005. – 248 с.

6. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений при управлении динамическими объектами [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2015. – № 5(27). Режим доступа http://iea.gostinfo.ru/files/2015_05/2015_05_02.pdf (дата обращения: 14.09.2015).

7. Петрин К.В., Теряев Е.Д., Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Мультиагентные технологии в эргатических системах // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. – № 3. – С. 7 – 13.

8. Каляев И. А., Капустян С.Г., Гайдук А.Р. Самоорганизующиеся распределенные системы управления группами интеллектуальных роботов, построенные на основе сетевой модели// УБС. 30.1 (2010). – С. 605–639.

9. Бурый А.С., Фомичев И.Д. Интеллектуальное планирование применения группы беспилотных летательных аппаратов // Транспортное дело России. 2013. – № 6. – С. 100 – 101.

10. Shappell S.A., Wiegmann, D.A. The Human Factors Analysis and Classification System—HFACS //Office of Aviation Medicine Federal Aviation Administration 14. Sponsoring Agency Code 800 Independence Ave., S.W. Washington, DC 20591, 2000. – 19 p.

11. Метод профессиональной подготовки пилотов к принятию решений в полете с целью повышения безопасности полетов воздушных судов: автореферат дис. ...кандидата технических наук: 05.22.14/ Михальчевский Ю.Ю. – С.-Пб, 2012. – 23 с.

12. Миркин Е.А., Пелихов В.П. Анализ нештатных ситуаций и критичности программного обеспечения в проекте международной космической станции // Проблемы управления. 2003. – № 4. – С. 52 – 54.

13. Колев Г. Й. Моделирование составления прогнозов поведения информационно-управляющей системы обеспечения безопасности летательных аппаратов в нештатных ситуациях. – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2015. – 236 с.

14. Макаров Н.Н. Системы обеспечения безопасности функционирования бортового эргатического комплекса: теория, проектирования, применение / Под ред. В.М. Солдаткина. – М.: Машиностроение – Полет, 2009. – 760 с.

15. Buryi A.S., Polous A.I., Shlyakonov V.A. A Functional Diagnostic Method for Program-controlled Objects // Automation and Remote control. 1998. - № 4. – P.2. – T.59. – P. 599 – 602.

16. Петровский А.Б. Основные понятия теории мультимножеств. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 80 с.

17. Хачумов М.В. Модели представления и кластеризации слабоструктуризированной информации // Искусственный интеллект и принятие решений. 2013. – № 4. – С. 62 – 71.

18. Колесникова С.И., Букреев В.Г. Подход к распознаванию состояний технической системы на основе мультимножеств // ПДМ. 2009. – Приложение № 1. – С. 109 – 111.

19. Бурый А.С. Введение в теорию синтеза отказоустойчивых многозвенных систем переработки навигационно-баллистической информации. – М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 1999. – 299 с.

20. Бурый А.С. Максимизация надежности распределенных систем на этапе планирования применения // Транспортное дело России. 2015. – № 1. – С. 90 – 92.

21. Орлова Е.Е., Докукин А.В. Согласование интересов субъектов права в нормотворческом процессе в техническом регулировании // Транспортное дело России. 2014. № 3.

22. Орлова Е.Е., Докукин А.В. Понятийный аппарат нормотворчества в техническом регулировании // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2013. № 5 (15).

23. Докукин А.В. Необходимость гармонизации интересов производителей и потребителей в техническом регулировании // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2011. № 3 (3).

24. Докукин А.В. Правовые вопросы разработки и распространения стандартов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2011. № 4 (4).

25. Докукин А.В., Борцова Д.Э. Информационное обеспечение взаимодействия государства и потребителей в процессе контроля качества и безопасности продукции // Транспортное дело России. 2013. № 1.

26. Докукин А.В., Ершова Т.Б., Коновалов В.А., Стреха А.А. Основы разработки стандартов информационной безопасности // Стандарты и качество. 2008. № 8.

27. Ломакин М.И., Докукин А.В. Интеграция российских инновационных предприятий в мировую экономику на основе развития информационного обеспечения стандартизации // Российское предпринимательство. 2012. № 2.

28. Докукин А.В. Обзор иностранных концепций использования стандартизации в интересах инновационного развития // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2012. № 4 (8).

29. Докукин А.В. Адаптация зарубежного опыта стимулирования инновационного развития с помощью стандартизации // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2011. Т. 2. № 2 (2).

30. Докукин А.В., Коновалов В.А. Роль системы технического регулирования в инновационном развитии экономики // Стандарты и качество. 2009. № 2.

31. Докукин А.В. Стандартизация как инструмент защиты отечественных инноваторов // Век качества. 2009. № 3.

© Бурый А.С.
© Шевкунов М.А.