

УДК 621.396.663

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ СОЗДАНИЯ РЛС ДО ФУНКЦИОНАЛЬНО-БЛОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

С. Ф. Боев, А. С. Логовский

²ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца»,

127083, Москва, ул. 8 марта, 10-1

Статья поступила в редакцию 12 июля 2017 г.

Аннотация. Создание радиолокационных станций дальнего обнаружения (РЛС ДО) в современных условиях характеризуется необходимостью снижения сроков и уменьшения стоимости создания. Проследив тенденцию развития РЛС ДО, можно отметить, что от образца к образцу увеличиваются тактико-технические требования при одновременном снижении сроков создания. Таким образом возникает определенное противоречие, связанное с тем, что при создании очередного образца РЛС ДО или его модернизации, необходимо увеличивать (или не снижать) его тактико-технические характеристики (ТТХ) и при этом снижать (или оставлять неизменным) время создания.

Существующие методы управления процессом создания РЛС ДО как технически сложных, многофункциональных систем, обладающих противоречивыми, порой взаимоисключающими требованиями к компонентам и, соответственно, характеристикам, не обеспечивают гарантированного выполнения требований тактико-технического задания в условиях жестких финансовых и временных ограничений, определенных Гособоронзаказом.

В статье рассмотрена задача сокращения общего времени создания РЛС дальнего обнаружения за счет декомпозиции создания РЛС по функциональному признаку и новой организации работ по изготовлению средств изделия и их пуско-наладке (ПНР) на этапе производства.

Ключевые слова: радиолокационные станции дальнего обнаружения, процессы создания, декомпозиция, пуско-наладка, функциональные системы,

радиоэлектронный комплекс, стенд генерального конструктора.

Abstract. The creation of early warning radar in modern conditions is characterized by the need to reduce the time and cost of its creation. Following the trend of the development of the radar stations, it can be noted that from the sample to the sample tactical and technical requirements are increased while reducing the time of radar station creation. Thus, a certain contradiction arises due to the fact that when creating the next model of a radar station, or its modernization, it is necessary to increase (or not to reduce) its Tactical and technical characteristics and at the same time to reduce (or leave unchanged) creation time.

The existing methods of controlling the process of creating a radar station, as a technically complex and multifunctional system that have conflicting and sometimes mutually exclusive requirements for components and, accordingly, characteristics, do not provide a guaranteed fulfillment of tactical and technical requirements in the conditions of severe financial and time constraints determined by the State Defense Order.

The article considers the task of reducing the total time for the creation of an early warning radar by decomposing the creation of a radar based on a functional basis and the new organization of work on manufacturing the means of the product and their commissioning at the production stage.

Key words: early-warning radar stations, the processes of creation, decomposition, commissioning, functional systems, radiotelemetry system, stand of the general designer.

Постановка задачи

Ставится следующая задача – обеспечить создание РЛС дальнего обнаружения с заданными ТТХ в заданные сроки (за время, не более заданного) и не более чем за заданную стоимость с выполнением следующих условий:

- ТТХ РЛС увеличены по отношению к ТТХ предыдущей РЛС;
- стоимость создания РЛС не увеличена по отношению к стоимости создания предыдущей РЛС;

- время создания РЛС не увеличено по отношению к времени создания предыдущей РЛС.

Задача создания изделия является задачей оптимального выбора решений $(K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H)$ из совокупности допустимых $\{K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H\}$ с минимизацией риска $P(\dots | X^*, t^*, C^*)$ и с выполнением условий $t^* \leq t', C^* \leq C', X^* \geq X'$.

где:

- t^* – заданный (предельный) срок создания изделия;
- t' – время (срок) создания предыдущего изделия;
- C^* – заданная (предельная) стоимость создания изделия;
- C' – стоимость создания предыдущего изделия;
- X^* - заданные ТТХ изделия;
- X' – ТТХ предыдущего изделия.

Соответственно, математически задача может быть сформулирована как поиск сочетания управляющих параметров, для которых реализуется минимальное значение риска:

$$M: V^* = \arg \min P(t, K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H) | t^* \leq t', C^* \leq C', X^* \geq X'$$

Результатом решения поставленной задачи является вариант $(K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H)$, применение которого позволяет создать изделие с заданными ТТХ в заданное время и стоимость и с выполнением условия снижения времени и стоимости создания по отношению к предыдущим изделиям с одновременным увеличением ТТХ. Таким образом, особенно в условиях имеющегося противоречия между снижением стоимости и времени и увеличением ТТХ поставленная задача создания РЛС ДО является актуальной.

Алгоритм поиска оптимального варианта $(K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H)$, т.е. соответствующего минимальному значению функции риска предполагает:

- декомпозицию требований по выполнению условий

$$X(K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H) \geq X^*;$$

$$t(K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H) \leq t^*;$$

$$C(K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H) \leq C^*.$$

что позволяет сократить время поиска вариантов $(K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H)$ за счет последовательной, а не одновременной проверки выполнения данных условий;

- выделение областей поиска в пространстве (K, T, P) , что позволяет сократить ее размеры настолько, что становится возможным (по времени решения) применение метода полного перебора вариантов.

В основе алгоритма поиска решения поставленной оптимизационной задачи в многомерном континуальном пространстве лежит метод сокращения размерности пространства для уменьшения количества возможных вариантов $(K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H)$, а после сокращения области поиска – перебор вариантов $(K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H)$ с целью выбора из них оптимального, т.е. для которого риск создания изделия минимален $P(t, K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H | X^*, t^*, C^*) \rightarrow \min$ и выполняются условия повышения ТТХ, снижения сроков и стоимости создания изделия по сравнению с предыдущими изделиями $t^* \leq t', C^* \leq C', X^* \geq X'$.

Таким образом, в исходной оптимизационной задаче поиска наилучшего варианта $(K_G, K_H, T_G, T_H, P_G, P_H)$ создания изделия выделяется задача управления процессом его создания с целью сокращения области возможных вариантов и техническое решение T_H , обеспечивающее его реализацию.

Управление процессами при создании РЛС ДО.

Задача управления процессом создания РЛС ДО представляет собой задачу декомпозиции создания РЛС на этапы и последующего их планирования (временной расстановки), при которой происходит сокращение его общего времени создания (в том числе и по отношению к предыдущему изделию) и его стоимости.

Декомпозиция создания РЛС на этапы проводится в соответствии с ГОСТ [1]. Снижение общей длительности T и стоимости C создания РЛС возможно по следующим направлениям:

- изменение номенклатуры и порядка работ по созданию РЛС;

- уменьшение длительности и стоимости этапов работ по созданию РЛС
- частично параллельное выполнение работ этапов проектирования, разработки и производства РЛС;
- частично параллельное выполнение работ этапов разработки, производства и пуско-наладки РЛС;
- частично параллельное выполнение работ этапов производства, пуско-наладки и испытаний РЛС;
- частично параллельное выполнение работ этапов пуско-наладки и испытаний РЛС, как показано на рисунке 1.

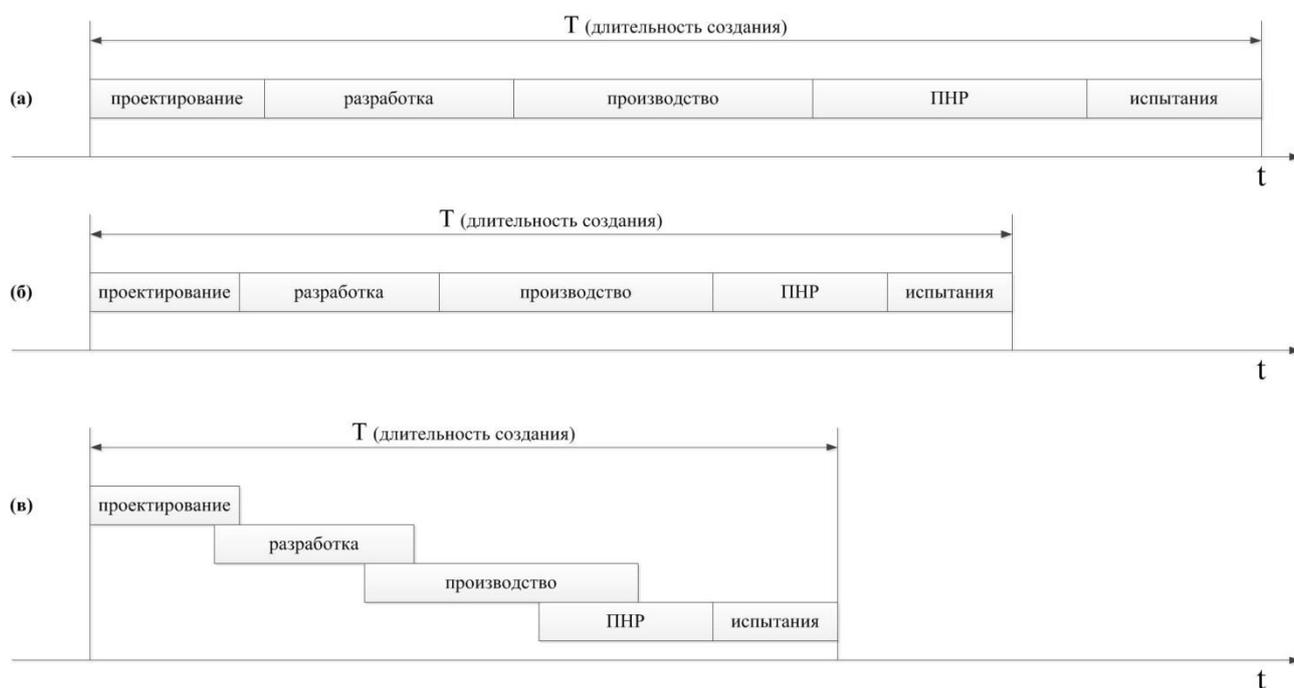


Рисунок 1. Процесс создания РЛС ДО при последовательном исполнении процессов (а); при последовательном исполнении процессов и сокращенном времени исполнения каждого процесса (б) и при частично параллельном исполнении процессов (в).

Наиболее значимый эффект с точки зрения сокращения длительности работ дает распараллеливание работ по изготовлению и пуско-наладке (ПНР) на этапе производства.

Производство – один из самых длительных этапов жизненного цикла создания РЛС ДО. Это объясняется, прежде всего, большим объемом аппаратной части и техническими сложностями ее изготовления. На этапе производства изготавливаются аппаратные и аппаратно-программные составные части изделия и их приемо-сдаточные испытания (ПСИ), а также монтаж и сборка изделия в целом на объекте дислокации. Испытания изделия проводятся в отдельном этапе.

Пуско-наладочные работы изделия – отдельный вид работ, включающий в себя автономные и комплексные стыковки и проверки функционирования изделия в целом с целью обеспечения выполнения им ТТХ. Проверки выполнения изделием своих ТТХ проводятся на этапе испытаний изделия.

Проведение ПНР, как совокупности работ по автономной и комплексной настройке, возможно только при наличии объекта настройки. Другими словами, ПНР изделия возможно проводить только при наличии смонтированного изделия на объекте монтажа. Это означает, что ПНР изделия могут выполняться только последовательно с работами по монтажу изделия, что создает проблему сокращения сроков работ на этапе производства как суммы сроков работ по изготовлению средств и ПНР. То же самое относится и к стоимости работ.

Существует и широко применяется ряд решений при проведении ПНР, к которым, прежде всего, относится отработка отдельных технических решений на стендовой базе (различных стендах, в том числе и комплексных). Использование стендов проводится в основном на территории предприятия-изготовителя и не требует наличия объекта дислокации или присутствия производственного персонала на нем.

Применение стендов для отработки и проверки технических решений эффективно в части технических решений с использованием отдельных составных частях, но эта эффективность убывает с увеличением уровня разукрупнения составных частей вплоть до изделия.

Таким образом, возникает проблема, связанная с проведением ПНР изделия и его крупных составных частей, заключающаяся в том, что указанные работы могут проводиться только на самом изделии, т.е. на объекте дислокации после сборки изделия. Решение данной задачи традиционным методом, т.е. проведением ПНР изделия на объекте дислокации, проводилось при создании РЛС ДО, что в итоге приводило к неизбежно длительным срокам объектовым работ в несколько десятков месяцев, а также к неизбежно высокой стоимости объектовых работ, связанной с необходимостью многочисленных длительных командировок.

В настоящей работе предлагается качественно новый метод проведения ПНР, позволяющий существенно (в разы) сократить сроки и стоимость указанных работ по сравнению с традиционным методом. Его реализация возможна только при качественно другом методе проектирования РЛС ДО, т.е. возможность реализации более эффективного проведения ПНР закладывается на этапе проектирования изделия.

Новый метод ПНР на этапе производства

Одной из ключевых задач, решение которой определяет эффективность создания РЛС ДО нового поколения, является определение ее структуры [2-3]. Традиционно в соответствии с нормативными документами, принятыми при разработке образцов военной техники (ВВТ) формализация структуры создаваемого образца производится в виде схемы деления, т.е. определяется его конструктивная структура, обеспечивающая достижение требуемых ТТХ.

Однако при создании РЛС на основе декомпозиции тактико-технических требований, предъявляемых Заказчиком, на крупные функциональные задачи, возможно определить номенклатуру функциональных задач, решаемых РЛС и определить перечень конструктивных элементов, обеспечивающих их решение, определив, таким образом, не конструктивное, а конструктивно-функциональное деление РЛС [4].

Двумерное конструктивно-функциональное деление РЛС в отличие от одномерного конструктивного деления может быть формализовано в виде функционально-технологической матрицы. По одной координате данной матрицы расположены конструктивные элементы РЛС, а по другой – функциональные системы (ФС), т.е. функционально законченная совокупность конструктивных составных частей (включая ФПО), обеспечивающих решение функциональной задачи в рамках РЛС. При этом ФС может обладать свойством перестроения своей структуры для рационального решения тактических и/или технических задач при изменении условий эксплуатации.

При декомпозиции изделия (РЛС) в целом по функциональному признаку в виде совокупности решаемых ей функциональных задач для обеспечения ТТХ, становится возможным провести декомпозицию процесса ее пуско-наладки также по функциональному признаку, как показано на рисунке 2.

Другими словами, процесс пуско-наладки РЛС может быть представлен в виде совокупности процессов пуско-наладки ее приемника (приемная ФС), передатчика (передающая ФС), системы управления (ФС управления) и т.д., при этом каждый подпроцесс в процессе пуско-наладки во времени может быть также разделен на две части:

- работы, не требующие наличия изделия в целом, и которые могут быть проведены до сборки изделия;
- работы, требующие наличия изделия в целом, которые могут быть проведены только после сборки изделия.

Важным моментом является то, что работы, не требующие наличия изделия в целом, могут проводиться до его отправки на объект дислокации и, при выполнении определенных условий, параллельно с этапом изготовления средств.

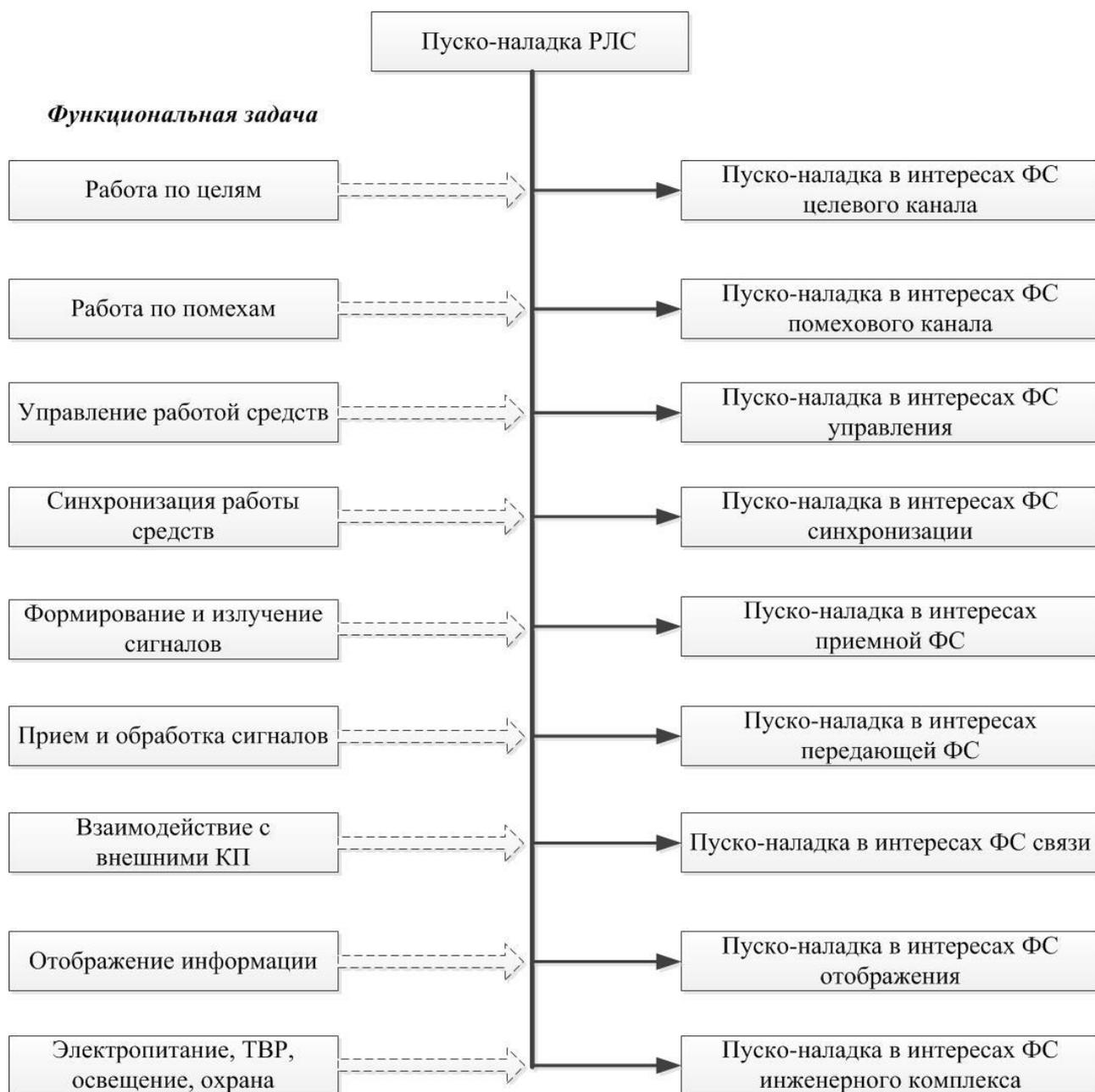


Рисунок 2. Декомпозиция процесса пуско-наладки РЛС по функциональному признаку.

Таким условиями являются:

- наличие необходимых программно-аппаратных средств для проведения работ по пуско-наладке отдельных ФС;
- наличие методического обеспечения проведения данных работ.

Выше отмечено, что традиционным способом проведения подобных работ является использование стеновой базы (стендов). Также отмечено, что эффективность применения традиционных стендов снижается с увеличением уровня разукрупнения в конструктивном делении изделия, что объясняется сложностью их создания.

В данном случае при декомпозиции процесса ПНР на подпроцессы требуется как раз наличие крупных составных частей изделия и изделия в целом, а в этом случае использование традиционных стендов становится трудно применимым.

Решение задачи организации ПНР изделия при декомпозиции ее по функциональному признаку производится с применением принципиально другого подхода к понятию стеновой базы.

Одним из условий выполнимости ПНР при его декомпозиции по функциональному признаку является наличие необходимых программно-аппаратных средств. При наличии функционально-технологической матрицы состав средств, необходимых для проведения каждого подпроцесса пуско-наладки определен ей. Поэтому необходимо решить вопрос наличия и доступности данных средств.

На этапе проектирования РЛС должно быть определено не только ее конструктивно-функциональное деление, формализованное в виде конструктивно-технологической матрицы, но и предъявлены и реализованы требования к функциональной законченности конструктивных ее элементов и конструктивной законченности функциональных ее элементов. Под функциональной законченностью в данном случае понимается возможность работы (выполнения функциональных задач) конструктивного узла РЛС ДО без использования других конструктивных узлов. Под конструктивной законченностью конструктивного узла РЛС ДО понимается отсутствие необходимости проведения сборочных работ конструктивного узла после его сборки на этапе изготовления (за исключением работ по консервации).

При предъявлении и выполнении указанных требований структура РЛС будет состоять из крупно-модульных конструктивно и функционально законченных радиоэлектронных комплексов (РЭК), которые как раз и могут быть использованы в качестве необходимых аппаратно-программных средств.

В этом случае от традиционного понятия стенда для отработки отдельных технических решений, включающего в себя набор аппаратных и программных средств невысокого уровня разукрупнения (ячеек, блоков, возможно устройств) производится переход к другому пониманию стенда, включающего в себя крупные составные части изделия (РЭК), которые при этом являются одновременно являются штатными, т.е. входящими в состав изделия. Такое понимание стенда является качественно новым по отношению к традиционному его пониманию и фактически является новым стендовым образованием, которое может быть названо стендом генерального конструктора.

Выводы

Декомпозиция задачи пуско-наладки изделия по функциональному признаку на основании функционально-технологической матрицы позволяет создать новый метод ПНР изделия.

Применение нового стендового образования – стенда генерального конструктора – позволяет реализовать новый метод ПНР изделия, сократив общее время его создания.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (№ НШ-6831.2016.8)

Литература

1. ГОСТ Р.15.201-2000 Система разработки и постановки продукции на производство. ПРОДУКЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-

ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. Порядок разработки и постановки продукции на производство. Издание официальное. М. 2000

2. Боев С.Ф., Хайбутов К.Е. Обоснование концептуального проектирования ряда развития РЛС дальнего обнаружения на основе платформенного подхода // Вестник Ярославского зенитного ракетного училища противовоздушной обороны. Сборник научных трудов. Ярославль. 2014. №17. С. 53-62.
3. Боев С.Ф., Рахманов А.А. Методологические основы управления созданием высокоинформативных унифицированных РЛС ракетно-космической обороны // Радиопромышленность. 2016. № 1. С. 6-13.
4. Боев С.Ф., Слока В.К., Рахманов А.А. Система модульно-параметрического проектирования радиолокационных станций дальнего обнаружения нового поколения ОАО «РТИ» / История отечественной радиолокации: под ред. С.В. Хохлова. – М.: Столичная энциклопедия. – 2015. – С.407-414

Ссылка на статью:

С. Ф. Боев, А. С. Логовский. Управление процессами создания РЛС ДО функционально-блочной структуры. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul17/11/text.pdf>