

# ИНФОРМАЦИОННО-КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 005.8:004.942

*Возный А. М., Кнырик Н. Р., Кошкин В. К.*

## Имитационное моделирование проектов аутсорсинговых ИТ-компаний на основе сетей Петри

*Voznyi O. M., Knyrik N. R., Koshkin V. K.*

### Simulation of outsourcing IT-company's projects based on Petri nets

В статье предложена имитационная модель проекта аутсорсинговой ИТ-компании на основе иерархической стохастической временной сети Петри. Сформировано дерево классов объектов, представлены диаграммы их состояний, построена иерархия сетей Петри.

**Ключевые слова:** управление ИТ-проектами, имитационное моделирование, сети Петри.

The paper proposes a simulation model of outsourcing IT-company's projects based on hierarchical stochastic timed Petri net. Formed the hierarchy of classes of objects and their state diagrams, construct the hierarchy of Petri nets.

**Keywords:** IT project management; simulation; Petri nets.

*Постановка проблемы в общем виде.* Особенности процессов разработки программного обеспечения аутсорсинговыми ИТ-компаниями требуют специфической методологии и инструментальных средств управления проектами. Существенной с точки зрения успеха проекта проблемой является осуществление объективного мониторинга текущего состояния продукта проекта. Большинство методологий управления ИТ-проектами не имеют эффективных средств доступа к объективной, полной и достоверной информации об изменении состояния продукта. Это препятствует формированию своевременных и оптимальных управленческих воздействий на проект.

*Анализ последних исследований и публикаций.* Разработку ИТ-проектов можно рассматривать как сложную динамическую организационную систему [1]. Эффективным средством моделирования дискретных систем с параллельными и асинхронными процессами являются сети Петри. Применение данного математического аппарата позволяет осуществлять планирование и мониторинг состояний продукта проекта [2], поэтому его целесообразно использовать для моделирования процессов разработки программного обеспечения.

Формализм сетей Петри позволяет вводить ряд дополнительных правил и условий в алгоритмы моделирования, получая ту или иную разновидность сетей. Различают временные, стохастические, функциональные, цветные, ингибиторные, вложенные, иерархические и другие расширения сетей [3–6].

*Выделение нерешенной ранее части общей проблемы.* Использование какого-либо одного расширения сети Петри не позволяет в полной мере решить описанную выше проблему, в связи с чем возникает необходимость разработки комплексной модели с использованием различных подходов. В качестве основного расширения наибольший интерес представляют иерархические сети. Они являются обобщением регулярных сетей и служат для моделирования иерархических систем, которые содержат как простые (атомарные) компоненты, так и сложные (составные), представляющие собой самостоятельную сеть [4]. С учетом специфики задачи моделирования данный тип сети необходимо дополнить временной и стохастической компонентами.

Целью исследования является формирование подходов к разработке и применению имитационных моделей проектов аутсорсинговой ИТ-компании для повышения качества принимаемых управленческих решений.

*Основная часть исследования.* Системы с дискретным временем можно представить как структуру, образованную из элементов двух типов: событий (позиций) и условий (переходов).

Полное определение сети Петри, включая данные о начальной маркировке  $\mu_0$ , можно записать в виде:

$$C = (P, T, I, O, \mu_0),$$

где  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, n \geq 0$  – конечное множество позиций,  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}, m \geq 0$  – конечное множество переходов, таких, что  $P \cap T = \emptyset$ .  $I: T \rightarrow P^\infty$  – входная функция – отображением переходов в комплекты позиций,  $O: T \rightarrow P^\infty$  – выходная функция – отображение из переходов в комплекты позиций [3].

Граф  $G$  сети Петри – это двудольный ориентированный мультиграф  $G = (V, E)$ , где  $V = P \cup T$  – множество вершин,  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_r\}$  – комплект направленных дуг,  $e_i = (v_j, v_k)$ , где  $v_j, v_k \in V$  и для любой направленной дуги либо  $v_j \in P, v_k \in T$ , либо  $v_j \in T, v_k \in P$ .

Маркировка  $\mu$  сети Петри – это отображение множества позиций  $P$  во множество неотрицательных целых чисел  $\mu: P \rightarrow N$ . Т. е. каждому элементу множества  $P$  соответствует натуральное число, которое отражает потенциал данной позиции  $\mu: P \rightarrow N$  – количество маркеров (фишек) в позиции  $p_i$ . При срабатывании (возбуждении или запуске) перехода маркеры из входных позиций этого перехода перемещаются в выходные позиции. Переход активизируется (разрешен) при количестве маркеров во входных позициях большем или равном кратности входящих дуг. Функционирование сети можно представить как последовательную смену маркировок в результате срабатываний переходов.

В сетях Петри можно выделить следующие типы переходов.

Переход AND-join – оператор перехода, который имеет две или более входных и одну выходную позицию. Обычно это точка закрытия параллельного выполнения. Для перехода этого типа определено следующее поведение: если есть хотя бы одна фишка в каждой входной позиции, одна фишка удаляется из каждой из этих позиций и одна фишка добавляется в выходную позицию.

Переход AND-split – оператор перехода, у которого есть, по меньшей мере, одна фишка во входной позиции, одна фишка удаляется из этой позиции и одна фишка добавляется в каждую выходную позицию.

Переход XOR-join срабатывает, если есть, по меньшей мере, одна фишка хотя бы в одной из входных позиций. Эта фишка удаляется из входной позиции и добавляется в выходную.

Переход XOR-split срабатывает, если есть, по крайней мере, одна фишка во входной позиции, она удаляется из этой позиции и добавляется в одну из выходных позиций.

Иерархическая сеть содержит переходы, в которые вложены другие, возможно, также иерархические, сети. Срабатывание такого перехода характеризует выполнение полного жизненного цикла подсети.

Для наглядности сложные переходы часто обозначаются прямоугольником. Такой переход начинает выполнение с изъятия фишек из входных позиций и завершает, соответственно, помещая фишки в выходные. Основное отличие от простого перехода заключается в том, что между этими двумя моментами могут срабатывать другие переходы.

В момент активации составного перехода из его входных позиций извлекаются фишки, после чего вложенная сеть начинает функционирование исходя из своей начальной разметки. Когда после очередного срабатывания внутреннего перехода вложенной сети в ней не остается разрешенных переходов, она прекращает работу. В этот момент соответствующий состав-

ной переход помещает фишки в выходные позиции и переходит в пассивное состояние. При следующей активации составного перехода вложенная сеть снова размечается в соответствии со своей начальной разметкой и начинает новый жизненный цикл.

Как было определено ранее, особенности процессов разработки программного обеспечения не позволяют ограничиться какой-либо одной модификацией сетей Петри, поэтому для моделирования проектов аутсорсеровых ИТ-компаний предлагается использовать иерархические стохастические временные сети.

Иерархическая сеть состоит из сетей нескольких рангов. Узлы сети  $k$ -го ранга включаются в один или несколько узлов сети  $(k-1)$ -го ранга.

Иерархическая стохастическая временная сеть Петри  $k$ -го ранга

$$C^{(k)} = (P^{(k)}, T^{(k)}, W^{(k)}, L^{(k)}, M^{(k)}, D^{(k)}, \mu_0^{(k)})$$

задается множествами:  $P^{(k)} = \{p_1^{(k)}, p_2^{(k)}, \dots, p_n^{(k)}\}, n \geq 0$  – конечное множество позиций,  $T^{(k)} = \{t_1^{(k)}, t_2^{(k)}, \dots, t_m^{(k)}\}, m \geq 0$  – конечное множество переходов, таких, что  $P^{(k)} \cap T^{(k)} = \emptyset$ .  $W^{(k)} \subseteq (P^{(k)} \times T^{(k)}) \cup (T^{(k)} \times P^{(k)})$  – конечное множество дуг,  $L^{(k)} : W^{(k)} \rightarrow N$  – кратность дуг,  $M^{(k)} = \{m^{(k)} \mid m^{(k)} \in [0,1]\}$  – множество значений, задающих вероятность запуска,  $D^{(k)} : T^{(k)} \rightarrow N$  – длительность срабатывания переходов,  $\mu_0^{(k)}$  – вектор начальной маркировки.

Любой элемент множества переходов  $T^{(k)} = \{t_1^{(k)}, t_2^{(k)}, \dots, t_m^{(k)}\}, m \geq 0$  может представлять собой самостоятельную сеть Петри. Т.е.  $\forall i, i = 1, 2, \dots, n, t_i^{(k)} = C^{(k+1)}$ , где  $C^{(k+1)} = (P^{(k+1)}, T^{(k+1)}, W^{(k+1)}, L^{(k+1)}, M^{(k+1)}, D^{(k+1)}, \mu_0^{(k+1)})$ .

Рассмотрим порядок формирования сети Петри на примере проекта разработки веб-сервиса для диспетчерской службы такси, обслуживающий запросы водителей. Используя микропроектный подход [7], будем рассматривать его как мультипроект, состоящий из множества микропроектов.

Разработка модели мультипроекта начинается с формирования дерева классов объектов (рис. 1), являющихся продуктами и/или ресурсами всех микропроектов, включенных в мультипроект.

Далее для каждого класса объектов необходимо определить возможные состояния и допустимые переходы между ними (диаграммы состояний). На рис. 2 и 3 представлены диаграммы состояний объектов «протокол» и «лист рассогласования» соответственно.

Последовательность переходов состояний абстрактных объектов в дальнейшем моделируется при помощи сети Петри. При формировании сети проверяется допустимость переходов в соответствии с диаграммами состояний.

Мультипроект разработки веб-сервиса включает в себя такие мультипроекты: разработка технического задания (ТЗ), разработка технического проекта (ТП), согласование протокола обмена, разработка контроллера, разработка документов, разработка объектов, разработка структуры БД, разработка коннектора к БД, итоговое тестирование и доработка. Мультипроект «Согласование протокола» в свою очередь содержит микропроекты: разработка протокола, отправка протокола на согласование, разработка листа рассогласования (ЛР), согласование ЛР, формирование списка доработок, согласование протокола. Аналогично декомпозируются остальные мультипроекты.

Как видим, основным условием начала перехода (проекта) является наличие всех необходимых ресурсов.

Верхний (контекстный) уровень сети Петри представлен одним переходом (рис. 4), который обозначает проект разработки веб-сервиса в целом.

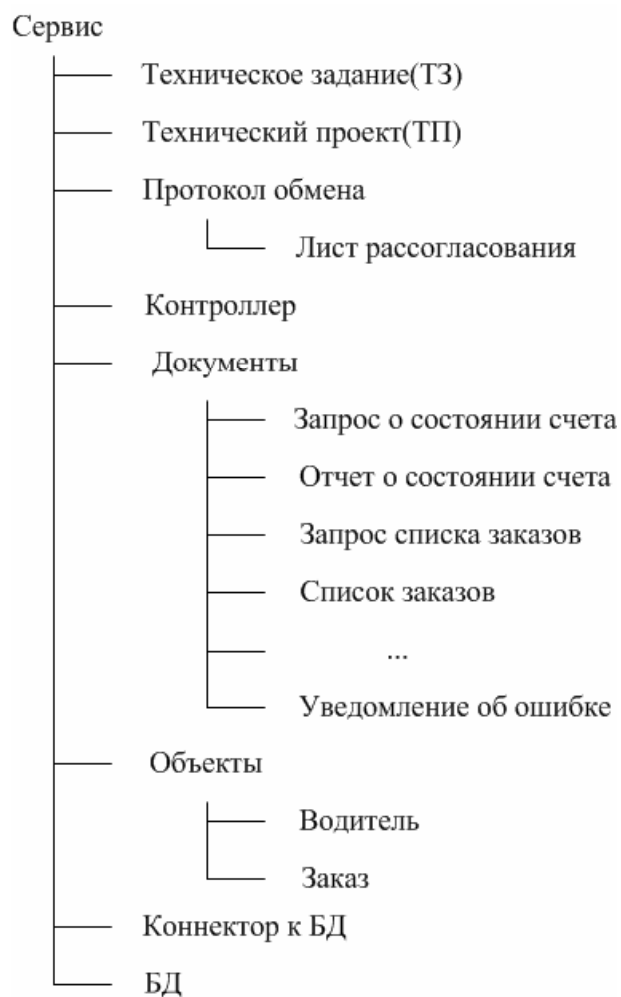


Рисунок 1. Дерево классов объектов мультипроекта

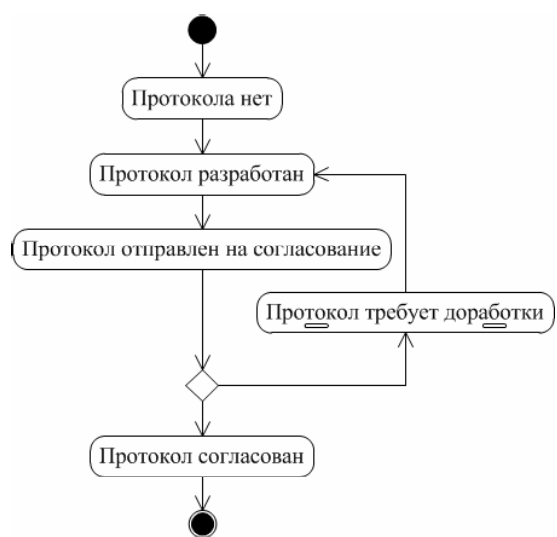


Рисунок 2. Диаграмма состояний объекта «Протокол обмена»

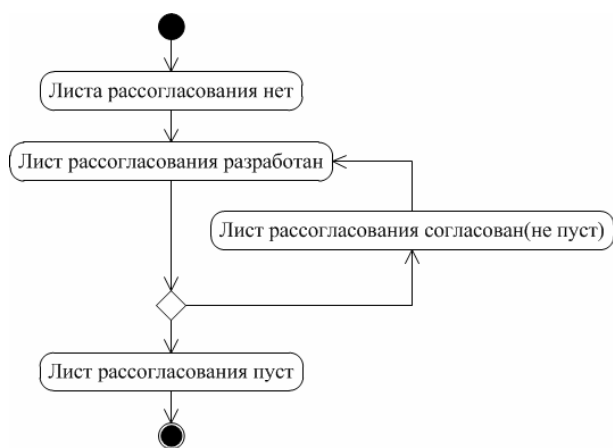


Рисунок 3. Диаграмма состояний объекта «Лист рассогласования»

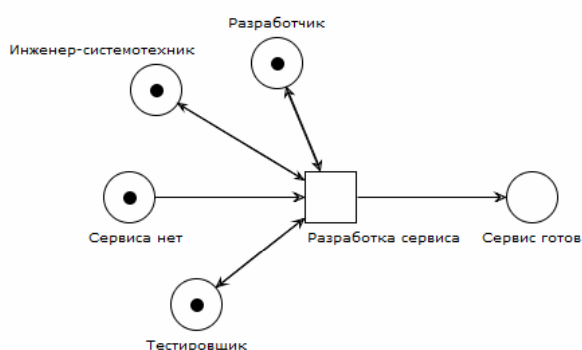


Рисунок 4. Верхний уровень формализации проекта разработки веб-сервиса

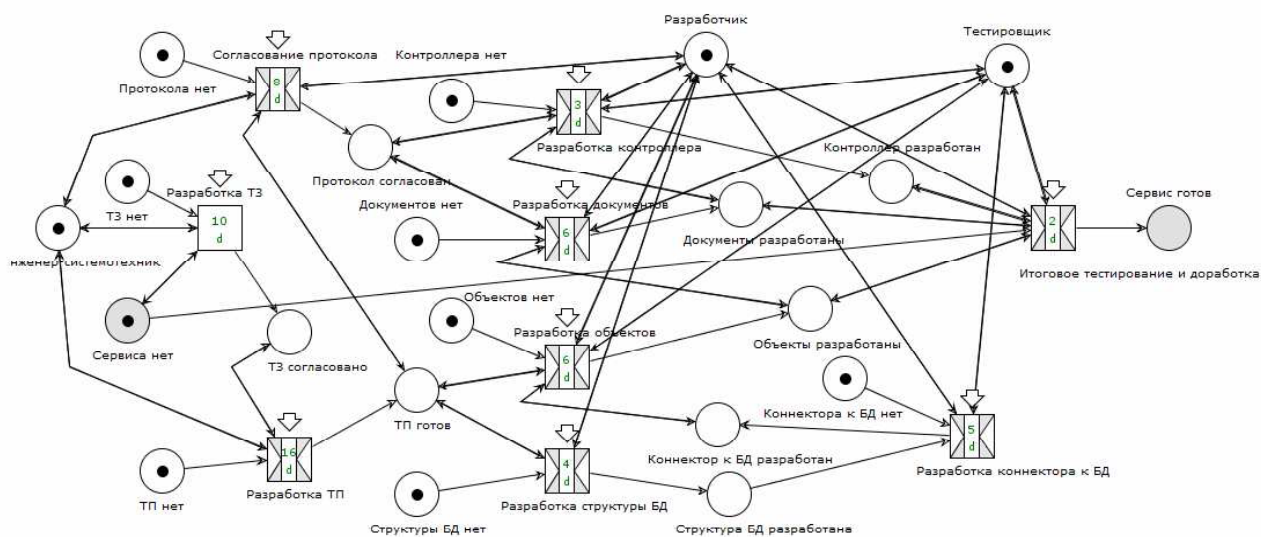


Рисунок 5. Сеть Петри первого уровня декомпозиции

На рис. 5 представлена сеть первого уровня декомпозиции. Серым цветом помечены состояния продукта, представленные на контекстном уровне.

На рис. 6 представлена сеть второго уровня декомпозиции для перехода (мультипроекта) «Согласование протокола».

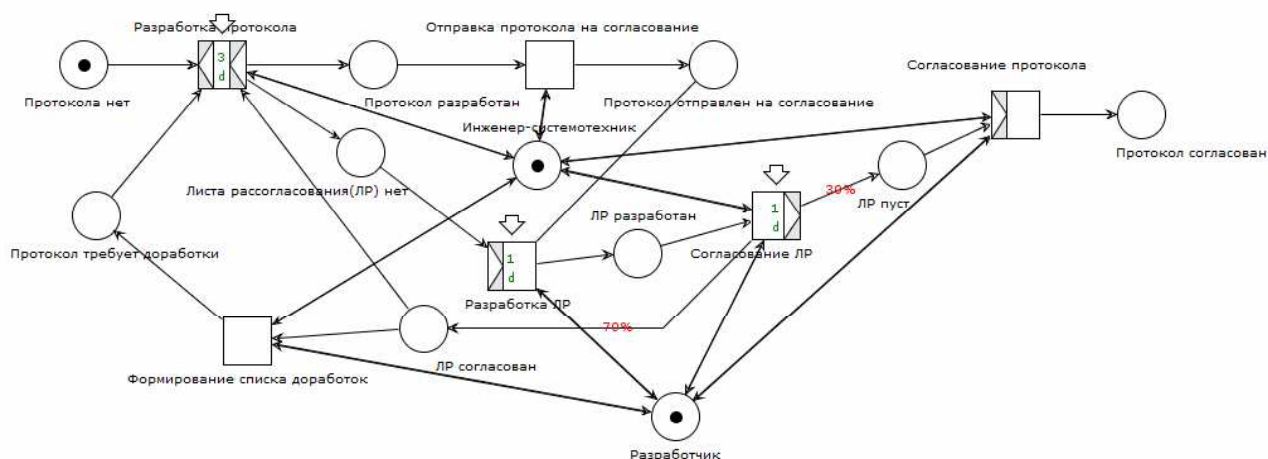


Рисунок 6. Сеть Петри для перехода «Согласование протокола»

Представленная сеть содержит условный переход (XOR-split) «Согласование ЛР», который моделирует вероятность того, что протокол потребует доработки.

Предложенная модель может быть использована:

- как средство прогнозирования, позволяющее предсказывать поведение проекта и управлять им, оценивая различные варианты управления на модели;
- для нахождения оптимальных соотношений параметров, а также для определения особых (критических) режимов реализации проекта.

Исследование моделируемой системы можно осуществить путем проведения простых и оптимизационных экспериментов, анализа по методу Монте-Карло и анализа чувствительности [8].

Задачи вида «что – если» (прямая задача имитационного моделирования) решаются с помощью простого эксперимента. В процессе симуляции можно увидеть динамику изменений свойств системы.

Чтобы найти такие значения параметров, при которых функция, выбранная в качестве целевой, примет максимальное или минимальное значение, как в условиях неопределенности, так и при наличии ограничений, необходимо провести оптимизационный эксперимент. Он используется для решения обратной задачи имитационного моделирования. В случае, когда число возможных вариантов решения невелико, решение обратной задачи сводится к простому перебору всех возможных решений. Сравнивая их между собой, можно найти оптимальное решение. Если перебрать все варианты решений невозможно, то используются методы направленного перебора с применением эвристик.

Любая сложная система зависит от некоторого набора случайных факторов, имеющих различные законы распределения. Метод Монте-Карло предусматривает проведение многократных экспериментов при условии варьирования входных параметров с накоплением статистики полученных результатов. Вероятность, что средние показатели результатов будут значительно отличаться от показателей реальной системы, будет мала при большом количестве испытаний.

Эксперимент по методу анализа чувствительности помогает оценить чувствительность результатов моделирования к конкретным параметрам модели. При этом выполняется несколько «прогонов» модели, варьируя значения одного из параметров и оценивая, как результаты моделирования зависят от этих изменений.

Эксперимент с варьированием параметров и анализом реакции модели помогает оценить, насколько чувствительным является выдаваемый моделью прогноз к изменению гипотез, лежащих в основе модели. При анализе чувствительности рекомендуется выполнять из-

менение значений факторов по отдельности, что позволяет ранжировать их влияние на результирующие показатели.

*Выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении:*

1. В работе предложена имитационная модель проекта аутсорсинговой ИТ-компании на основе иерархической стохастической временной сети Петри, сформировано дерево классов объектов мультипроекта, представлены диаграммы состояний объектов модели.

2. Иерархический принцип построения имитационной модели дает возможность верифицировать каждый блок до его включения в общую модель. Предложенный подход к разработке модели позволяет выполнять динамический компьютерный анализ развития ситуации для повышения качества принимаемых управленческих решений.

3. Дальнейшие исследования должны быть направлены на формализацию процедур планирования и проведения модельных экспериментов.

#### Литература

1. Бурков, В. Н. Введение в теорию управления организационными системами / В. Н. Бурков, Н. А. Коргин, Д. А. Новиков. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.
2. Возный, А. М. Имитационное моделирование ИТ-проектов на основе сетей Петри / А. М. Возный, К. В. Кошкин, Н. Р. Кнырик // Вісник НТУ «ХП». Сер. Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – 2015. – № 1 (1110). – С. 24–28.
3. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
4. Котов, В. Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
5. Ломазова, И. А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой. – М.: Научный мир, 2004. – 208 с.
6. Аалст, В. ван дер. Управление потоками работ: модели, методы и системы / В. ванн дер Аалст, К. ван Хей. – М.: Физматлит, 2007. – 316 с.
7. Teslenko, P. Implementation of two-level project management for safety systems development / P. Teslenko, O. Voznyi // Technology, computer science, safety engineering: Scientific Issues Jan Dlugosz University. – Częstochowa: Wydawnictwo im. Stanisława Podobińskiego Akademii im. Jana Długosza, 2014. – Issue 2. – P. 399–403.
8. Возный, А. М. Оценка сценариев развития организационных систем на основе модельных экспериментов / А. М. Возный, К. В. Кошкин, Н. Р. Кнырик // Вісник НТУ «ХП». Сер. Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – 2014. – № 2 (1045). – С. 27–32.

Возный Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, кафедра управления проектами, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина, [university@nuos.edu.ua](mailto:university@nuos.edu.ua)

Alexander M. Voznyi, candidate of technical sciences, associate professor, department of project management, Admiral Makarov National university of shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine, [university@nuos.edu.ua](mailto:university@nuos.edu.ua)

Кнырик Наталья Ромуальдовна, старший преподаватель, кафедра информационных управляющих систем и технологий, Национальный университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина, [university@nuos.edu.ua](mailto:university@nuos.edu.ua)

Natalia R. Knyrik, senior lecturer, department of information management systems and technologies, Admiral Makarov National university of shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine, [university@nuos.edu.ua](mailto:university@nuos.edu.ua)

Кошкин Владимир Константинович, преподаватель, кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина, university@nuos.edu.ua

Vladimir K. Koshkin, lecturer, department of automated systems software, Admiral Makarov National university of shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine, university@nuos.edu.ua

*Статья поступил в редакцию 12 марта 2016 г.*

**УДК 352.075**

**Максимов В. П.**

**Оценка и пути совершенствования муниципальной службы  
в органах местного самоуправления Челябинской области**

**Maksimov V. P.**

**Evaluation and ways of improvement of municipal service  
in bodies of local self-government of the Chelyabinsk region**

Статья посвящена изучению состояния и развития муниципальной службы в органах местного самоуправления Челябинской области, проведенного автором на основе статистических данных за 2008–2012 годы. На основе полученных результатов проведен анализ кадрового состава муниципальных служащих Челябинской области в сравнении с аналогичными показателями в Российской Федерации, выявлены проблемы и предложены мероприятия по совершенствованию муниципальной службы

**Ключевые слова:** *муниципальная служба; правовое регулирование муниципальной службы; органы местного самоуправления; кадровый состав муниципальных служащих; аттестация муниципальных служащих; противодействие коррупции на муниципальной службе.*

The article is devoted to the study of the status and development of municipal service in bodies of local self-government of the Chelyabinsk region, conducted by the author on the basis of statistical data for 2008–2012. On the basis of obtained results the analysis of personnel structure of municipal employees of the Chelyabinsk region in comparison with the similar indicators in the Russian Federation, identified problems and proposed measures to improve municipal service.

**Keywords:** *municipal service legal regulation of municipal service; local authorities; staff of municipal employees; the certification of municipal employees; corruption in municipal service.*

В условиях реформирования местного самоуправления вопрос формирования корпуса профессиональных муниципальных служащих, способных эффективно решать задачи социально-экономического развития муниципального образования, приобретает первостепенное значение.

Происходящие процессы изменения внешней среды, возрастания кризисных явлений в экономике Российской Федерации вызывают потребность в повышении эффективности муниципального управления, которая требует наличия компетентного кадрового состава муниципальных служащих органов местного самоуправления.

В настоящее время корпус муниципальных служащих выступает в качестве основных организаторов жизнеобеспечения населения и развития территории муниципального образования, где основным средством реализации ими своих задач и функций является муниципальная служба.

Как отмечает А. Крахмалов: «В деятельности муниципальных служащих находят свое реальное воплощение исполнение различного рода профессиональных функций и принятие