

ПОДХОДЫ К РАЗРУШЕНИЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

кандидат технических наук **Н. В. Акамсина**¹кандидат технических наук **О. А. Коновалов**²кандидат технических наук **Л. А. Коробова**³доктор технических наук, профессор **Ю. С. Сербулов**⁴

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Воронеж, Российская Федерация

2 – ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
г. Воронеж, Российская Федерация

3 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
г. Воронеж, Российская Федерация

4 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

В статье представлены аспекты разрушения структур некоторых видов сложных систем, проведен анализ критериев разрушения систем древовидной структуры, рассмотрен метод декомпозиции системы на подсистемы. В общем случае определена недостаточность исследования проблемы разрушения структур систем, которая с учетом сложности разрушения или дестабилизации подсистемы глобальных информационных сетей представляет научный интерес и широкое практическое приложение. Формализованной задачей в исследовании разрушения сложных систем послужила декомпозиция двухуровневой системы с известной структурой на относительно независимые подсистемы и их дальнейшая оптимизация с целью разрушения. Определено, что при решении данной задачи и нахождении оптимальной структуры новой системы, определенно заданную структуру можно гарантированно разрушить с расчетной степенью вероятности. В заключительной части статьи авторами разработан метод оптимизации структуры сетевой модели путем минимизации резервов времени операций. В основу метода положен алгоритм перераспределения трудовых ресурсов по операциям сетевой модели путем их снятия с не критических операций сетевой модели и перераспределения их на критические. Определено, что при выполнении заданного условия будет выявлена сетевая модель с оптимальной структурой, то есть модель, в которой все пути одинаковы и являются критическими. Отмечено, что ресурсы в такой сетевой модели распределены оптимально. Для доказательства вышеизложенного подхода рассмотрена и доказана теорема, утверждающая, что для возможности уменьшения времени выполнения комплекса операций при заданном распределении ресурсов необходимо и достаточно, чтобы в сетевой модели отсутствовал критический путь.

Ключевые слова: система, структура, декомпозиция, разрушение, оптимизация.

APPROACHES TO CORRUPTING OF DIFFICULT SYSTEMS

PhD in Engineering **N. V. Akamsina**¹PhD in Engineering **O. A. Konovalov**²PhD in Engineering **L. A. Korobova**³DSc in Engineering, Professor **Yu. S. Serbulov**⁴

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State Architectural and Construction University», Voronezh, Russian Federation

2 – Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russian Federation

3 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Engineering Technologies», Voronezh, Russian Federation

4 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

Abstract

In article aspects of corrupting of structures of some types of difficult systems are provided, the analysis of criteria of corrupting of systems of a tree structure is carried out, the decomposition technique of system on subsystems is considered. Insuffi-

ciency of research of a problem of corrupting of structures of systems which taking into account complexity of corrupting or destabilization of a subsystem of wide area information networks represents scientific interest and the wide practical application is generally defined. As the formalized task decomposition of two-level system with known structure on rather independent subsystems and their further optimization for the purpose of corrupting served in research of corrupting of difficult systems. It is defined that in case of the solution of this task and finding of optimum structure of new system, definitely the given structure it is possible is guaranteed to destroy with estimated confidence figure. In final part of article authors developed a method of optimization of structure of a network model by minimization of float times of operations. The algorithm of redistribution of work forces on operations of a network model by their removal from noncritical operations of a network model and their redistribution on the critical is the basis for a method. It is defined that in case of execution of the given condition the network model with optimum structure will be revealed, that is model in which all ways are identical and are critical. It is marked that resources in such network model are distributed optimum. For the proof of the above approach the theorem claiming is considered and proved that for possibility of reduction of runtime of a complex of operations in case of the given distribution of resources, it is necessary and enough that in a network model there was no critical path.

Keywords: system, structure, decomposition, corrupting, optimization.

В настоящее время перспективы современных исследований направлены на освоение новых принципов и глобальных «стандартов» управления организационно-техническими и сетевыми системами [9]. Подобные многоуровневые системы сетевых интеграции и мобильных объектов различного назначения рассматриваются в качестве полномасштабного применения графодинамических систем с управлением в едином информационно-функциональном пространстве управления с их взаимодействием в реальном времени [3]. Однако разработка глобальной информационной системы пока остается нерешенным этапом в создании интегрированного пространства управления.

Необходимо отметить, что разрушить или дестабилизировать подсистемы глобальных информационных сетей весьма проблематично [10, 11]. В общем случае проблема разрушения структур систем исследована недостаточно, представляет научный интерес и широкое практическое приложение.

Формализованная постановка задачи исследования

Пусть известна структура двухуровневой системы. Задачей является декомпозиция системы на относительно независимые подсистемы и дальнейшая их оптимизация с целью разрушения. Получив решение данной задачи и оптимальную структуру новой системы, можно утверждать, что ее можно гарантированно разрушить с заданной степенью вероятности.

В случае, если структура двухуровневой системы определяется структурой исходной задачи, то

подзадачи нижнего уровня формируются в соответствии с блоками ограничений на переменные, а общие ограничения переносятся в связующую задачу верхнего уровня. Однако такой подход не всегда приводит к желаемым результатам вследствие несоответствия блоков исходной задачи структуре моделируемого объекта, а также при переносе ограничений в задачу верхнего уровня существенно возрастает размерность исходной задачи.

Вследствие разрыва взаимосвязей блоков подсистемы нижнего уровня иерархии формально становятся независимыми. При этом на верхнем уровне реализуется функция согласования решений с целью получения оптимального решения задачи.

При декомпозиции системы путем разложения переменных используются, как правило, следующие способы согласования [1, 2, 8]:

1. *Стимулирование.* На верхнем уровне иерархии реализуется стимулирование переменных и производится регулирование коэффициентов целевой функции подсистемы нижнего уровня.

2. *Фиксирование.* На верхнем уровне иерархии фиксируются соответствующие значения параметров, и осуществляется их регулирование.

3. *Оценка.* На верхнем уровне иерархии указывается диапазон воздействия на переменные с целью влияния на процесс согласования.

4. *Прогнозирование.* На верхнем уровне иерархии реализуется функция, позволяющая прогнозировать воздействия со стороны других подсистем. Эта функция, как правило, корректируется.

Отметим, что известные методы декомпозиции системы взаимосвязанных объектов на подсистемы сводятся к разбиению системы на неопределенное число подсистем. При этом на практике их реальное число не прогнозируемо. Рассмотрим общую задачу, когда число подсистем априорно.

Пусть задана система взаимосвязанных элементов $S = \{s_1, \dots, s_m\}$, состоящая из подсистем A , B и C , для которой задана функция сложности [1] $r(A)$ подсистем $A \subset S$. При этом должны выполняться следующие условия:

$$r(A) \geq 0; \quad (1)$$

$$r(\emptyset) = 0; \quad (2)$$

$$r(A \cup B) \geq r(A) + f(B), \quad (3)$$

Пусть также задана функция близости (силы связей) $\varphi(A, B)$ подсистем $A, B \subset S$, которая обладает свойствами рефлексивности $\varphi(A, A) = 0$ и симметричности $\varphi(A, B) = \varphi(B, A)$ соответственно, и обладающая следующими свойствами:

$$\varphi(A, B) \geq 0; \quad (4)$$

$$\varphi(A, \emptyset) = 0; \quad (5)$$

$$\varphi(A, B \cup C) \geq \varphi(A, B); \quad (6)$$

$$\varphi(A, B \cup C) \leq \varphi(A, B) + \varphi(A, C). \quad (7)$$

Аналогичным требованиям удовлетворяют и аддитивные функции:

$$\varphi(A, B \cup C) = \varphi(A, B) + \varphi(A, C) - \varphi(A, B \cap C); \quad (8)$$

$$r(A \cup B) = r(A) + r(B) + \psi(A, B). \quad (9)$$

Под сложностью подсистемы понимается время выполнения операций, объем поступающей информации, размерность рассматриваемой задачи и т.п. Под функций силы связей (близости) элементов подсистемы понимается число накладываемых ограничений, интенсивность ресурсных потоков и т.п. [1].

Систему S представим в виде графа $G = (S, U)$. В вершинах графа находятся элементы $r(s_m)$, т.е. $s_m \in G$, а дуги графа G отражают взаимосвязь с вершинами $(s_m, s_n) \in U$, характеризуемую дуговыми числами $\varphi(s_m, s_n) \geq 0$.

Определение 1. Декомпозицией системы S будем называть совокупность подсистем $\{S_j | j \in J\}$, если:

$$S_j \subset S;$$

$$S_j \neq \emptyset;$$

$$S_i \cap S_j = \emptyset,$$

$$i \neq j;$$

$$i, j \in J, \\ \bigcup_j S_j = S.$$

Формализованная постановка задачи поиска оптимальной декомпозиции системы записывается следующим образом:

$$\frac{1}{2} \beta_\varphi \sum_i \sum_j \varphi_r(S_i, S_j) + \\ + \beta_r \sum_j r(S_j) \rightarrow \min, \quad (10)$$

в области ограничений (11) - (15):

$$r(S_j) \leq \bar{r}, j \in J; \quad (11)$$

$$S_j \neq \emptyset, j \in J; \quad (12)$$

$$S_j \subset S, j \in J; \quad (13)$$

$$S_i \cap S_j \neq \emptyset, i, j \in J; i \neq j; \quad (14)$$

$$\bigcup_j S_j = S, \quad (15)$$

где \bar{r} – максимальная допустимая сложность системы, β_r, β_φ – априорные коэффициенты.

Способы и модели разрушения структур сетевых моделей.

Частные случаи и некоторые модели структурного разрушения систем простой древовидной структуры рассмотрены в [5, 6]. Рассмотрим их подробнее.

Пусть $G = (S, U)$ – граф, соответствующий структуре системы, где S и U – множества вершин и ребер. Примем, что каждой вершине $s \in S$ поставлены в соответствие веса $\varphi(s)$ и $\bar{\varphi}(s)$, отражающие текущую и предельную загрузку элемента системы.

Пусть $\tilde{S}_t = \{\tilde{s}_n^t\} \subseteq S, n = 1, 2, 3, \dots, |\tilde{S}_t|$ – множество вершин, вышедших из строя на момент времени t , а $\xi(\tilde{s}_n^t) = \{s_m^n\}$ – множество вершин, смежных с вершины \tilde{s}_n^t . Тогда процесс структурного разрушения формализуется следующим образом.

В момент $t = 0$ из вершин формируется множество \tilde{S}_1 , для которого $\varphi_0(\tilde{s}_n) \geq \bar{\varphi}(\tilde{s}_n)$, а в остальные моменты времени $t = 1, 2, 3, \dots, T$, выполняется правило:

$$\varphi_{t+1}(s_m^n) = \varphi_t(s_m^n) + \varepsilon_n \cdot \bar{\varphi}(\tilde{s}_n), \\ m = 1, 2, 3, \dots, |\xi(\tilde{s}_n^t)|, \quad (16) \\ n = 1, 2, 3, \dots, |\tilde{S}_t|$$

где ε_n – коэффициент распределения загрузки.

Структурное разрушение при $\varepsilon_n = 1/\deg \tilde{s}_n^t$ называется равномерным. Символом $\deg \tilde{s}_n^t$ обозначается степень вершины \tilde{s}_n^t . При этом, если $\varphi_{t+1}(s_m^n) \geq$

$\varphi_t(s_m^n)$, то вершина s_m^n удаляется из графа G и $\tilde{S}_{t+1} + s_m^n$. В случае равенства $\varphi(s) = \bar{\varphi}(s)$ считается, что элемент системы выходит из строя, а проходящие через него потоки ресурсов и весов равномерно перераспределяются между смежной и удаленной вершиной графа.

В случае разрушения одного или нескольких элементов системы, возможен ее переход в критическое состояние, при котором она не сможет выполнять свой функции. Система считается разрушенной, если изменения в ее структуре соответствуют критериям отказа. Следовательно, необходимо исследовать различные структуры сложных систем и выявить связь между типом такой структуры и временем структурного разрушения системы T_h .

Частным случаем связного ациклического графа (деревьев) $G = (S, U)$ является граф-цепь $C = (S_C, U_C)$ с множеством вершин S_C , состоящих из двух висячих вершин – концов цепи со степенями равными единице, и внутренних вершин со степенями, равными двум.

В [6] предложены следующие критерии разрушения для графа-цепи $C = (S_C, U_C)$, $|S_C| = l$, $l \geq 3$ с равными для всех его вершин $s \in S_C$ весами $\varphi_0(s)$ и $\bar{\varphi}(s)$. Рассмотрим их подробнее.

1. *Критерий полного разрушения* $\sigma_0(q)$ (q – число удаленных вершин в начальный момент разрушения). Система считается разрушенной, если в системе вышли из строя все элементы.

2. *Критерий связности* $\sigma_1(q)$. Система считается вышедшей из строя, если нарушена связность ее структуры при удалении вершин.

3. *Компонентный критерий* $\sigma_2(q, p)$. Система считается разрушенной, если число компонент в структуре системы при ее разрушении станет больше заданного числа p .

4. *Диаметральный критерий* $\sigma_3(q, \eta)$. Система считается разрушенной, если диаметр хотя бы одной из компонент структуры системы в процессе разрушения окажется меньше заданного числа η .

Рассмотренные критерии зависят от числа удаленных вершин q в начальный момент времени структурного разрушения, $(p - 1)$ – максимального числа компонент структуры при ее разрушении и η – минимального допустимого диаметра компонент структуры при ее разрушении соответственно.

Также в [6] доказано, что всякий граф-цепь бу-

дет разрушен в случаях:

1. По критерию $\sigma_0(1)$, если удалить одну из висячих вершин за время $T_h = l$.

2. По критерию $\sigma_0(1)$, если значения $\varphi_0(s)$ и $\bar{\varphi}(s)$ равные для всех вершин графа-цепи и выполняется условие $\bar{\varphi}(s) - \varphi_0(s) \leq \bar{\varphi}(s)/2$, то граф-цепь будет разрушен при удалении одной из внутренних вершин за время $T_h = \varepsilon(s) + 1$, где $\varepsilon(s)$ – эксцентриситет вершины, $s \in V_C$, а также и центральной вершины за время $T_h = \mu(C) + 1$, где $\mu(C)$ – радиус графа-цепи, $C = (S_C, U_C)$.

3. По критерию $\sigma_1(q)$, если удалить хотя бы одну невисячую вершину.

4. По критерию $\sigma_2(q, p)$, если число попарно несмежных внутренних вершин-эпицентров равно $q = p - 1$.

5. По критерию $\sigma_3(q, \eta)$ при удалении центральной вершины (эпицентра) или внутренней вершины, когда она является эпицентром.

Аналогичные случаи разрушения справедливы и для одноцентровых и двухцентровых деревьев за время $T_h = 1$.

Для систем, предназначенных для реализации процессов распределения ресурсов и в основу функционирования которых положены сетевые принципы планирования и управления, предлагается рассмотреть следующий подход к разрушению их структур.

В [4] разработан метод оптимизации структуры сетевой модели путем минимизации резервов времени операций. В основу метода положен алгоритм перераспределения трудовых ресурсов по операциям сетевой модели путем их снятия с некритических операций сетевой модели и перераспределения их на критические. При таком подходе основным условием является нахождение такого момента времени, при котором резервы времени некритических операций будут минимальным (равным нулю).

При выполнении этого условия получим сетевую модель, в которой все пути одинаковы и являются критическими, т.е. оптимальной по структуре [12]. Отметим, что ресурсы в такой сетевой модели распределены оптимально. Для доказательства вышеизложенного подхода рассмотрим следующую теорему [7].

Теорема. Для того чтобы время выполнения комплекса операций при заданном распределении ресурсов можно было уменьшить, необходимо и доста-

точно, чтобы в сетевой модели отсутствовал критический путь.

Необходимость. Рассмотрим доказательство методом от противного. Предположим, что время выполнения комплекса операций можно уменьшить на $\Delta\tau'$, перераспределив ресурсы с некритических операций на критические. Очевидно, что критический путь сетевой модели и временные параметры выполнения операций, с которых будут перераспределяться ресурсы, изменятся, хотя бы при одном таком перераспределении. При этом новые поздние моменты операций, с которых были сняты ресурсы – увеличатся на величину $\Delta\tau'$, считая, что время выполнения комплекса операций останется прежним. Таким образом, получим, что при том же распределении ресурсов и времени окончания комплекса операций резерв времени операции критического пути увеличится в результате изменения моментов перераспределения ресурсов. Но операции критического пути нельзя увеличить изменением моментов перераспределения ресурсов при постоянных потоках ресурсов и времени окончания комплекса операций.

Достаточность. Рассмотрим разрез сетевой модели, состоящий из дуг (i, j) таких, что полный резерв времени $R_{(ij)}^{\text{полн}} > 0$ и примем, что все операции $l_{(ij)} \in L$ (L – множество операций, по окончании которых ресурсы переходят на операцию (i, j)) име-

ют ненулевые резервы времени. Отметим, что функция зависимости скорости выполнения операции от количества ресурсов является кусочно-постоянной, неубывающей, непрерывной справа функцией и равной нулю в нуле. При снятии ресурсов с некритических операций и перераспределении их на критические, уменьшив поздние моменты начала операций, а также поздние моменты назначения ресурсов на величину $\Delta\tau' = \min_L \Delta\tau'_{(ij)}$, время окончания проекта уменьшится на величину $\Delta\tau'$.

Теорема доказана.

Следовательно, если все пути сетевой модели критические, то, очевидно, что «минимально необходимое воздействие» (внешнее или внутреннее) приведет такую систему к разрушению, или дестабилизации параметров сетевой модели (времени функционирования, финансовых и трудовых затрат). Под «минимально необходимым воздействием» могут пониматься методы экономического стимулирования или искусственного конфликта. При этом любая попытка исправить ситуацию приведет систему к дисбалансу.

Таким образом, оптимизация теряет свой физический смысл при решении задач оптимального распределения ресурсов, так как является следствием разрушения, дестабилизации и деструктуризации сетевых структур.

Библиографический список

1. Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении [Текст]: учебное пособие / В.С. Анфилатов ; под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
2. Жуков, В.П. О достаточных и необходимых условиях асимптотической устойчивости нелинейных динамических систем [Текст] / В.П. Жуков // Проблемы управления – Курск, 2005. – № 3. – С. 2-10.
3. Затуливетер, Ю.С. Графодинамические системы с сетцентрическим управлением в математически однородном поле компьютерной информации [Текст] / Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко // Управление большими системами: сборник трудов. – Курск, 2010. – № 30.1 (Спец. выпуск). – С. 567-604.
4. Метод оптимизации структуры детерминированной сетевой модели [Текст] / О.А. Коновалов, Е.В. Коновальчук, К.А. Малыков, Ю.С. Сербулов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – Воронеж, 2012. – № 2. – С. 111-116.
5. Кочкаров, А.А. Дискретная модель структурного разрушения сложных систем [Текст] / А.А. Кочкаров, М.Б. Салпагаров, Л.М. Эльканова // Проблемы управления – Курск, 2007. – № 5. – С. 21-27.
6. Кочкаров, А.А. Топологические аспекты разрушения сложных систем с ациклической структурой [Текст] / А.А. Кочкаров, М.Б. Салпагаров, Р.А. Кочкаров // Управление большими системами. – 2007. – № 17. – С. 103-120.
7. Сербулов, Ю.С. Управление распределением и потенциалом трудовых ресурсов организации при оптимизации структур сетевых моделей [Текст]: монография / Ю.С. Сербулов, О.А. Коновалов, О.В. Курипта – Воронеж, 2014. – 191 с.
8. Терновых, И.И. Об устойчивости непрерывных нечетких систем [Текст] / И.И. Терновых // Научные

ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика – Белгород, 2013. – № 26. – С. 43-51.

9. Alekseeva, M. Model checking approach to the correctness proof of complex systems [Text] / M. Alekseeva, E. Dashkova // Proceedings of the Spring/Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering – Yekaterinburg, 2011. – № 5. – pp. 65-68.

10. Ichiro Jikuya. Canonical Decomposition of Linear Time-Varying Systems [Text] / Ichiro Jikuya, Ichijo Hodaka Kalman // SIAM Journal on Control and Optimization – 2014. – Vol. 52. – no. 1. – pp. 274-310

11. Musheng Wei. A Canonical Decomposition of the Right Invertible System with Applications [Text] / Musheng Wei, Xuehan Cheng, and Qian Wang // SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications – 2010. – Vol. 31. – no. 4 – pp. 1958-1981.

12. Wing Shing Wong. Control Communication Complexity of Distributed Control Systems [Text] / Wing Shing Wong // SIAM Journal on Control and Optimization – 2009. – Vol. 48. – no. 3. – pp. 1722-1742.

References

1. Anfilatov V.S. *Sistemnyj analiz v upravlenii* [Systems analysis in control]. Moscow, 2002, 368 p. (In Russian).
2. Zhukov V.P. *O dostatochnyh i neobhodimyh usloviyah asimptoticheskoy ustojchi-vosti nelinejnyh dinamicheskikh system* [About sufficient and necessary conditions of asymptotic stability of non-linear dynamic systems]. *Problemy upravlenija* [Control Problems]. Kursk, 2005, no. 3, pp. 2-10. (In Russian).
3. Zatuliveter Yu.S., Fishchenko E.A. *Grafodinamicheskie sistemy s setecentricheskim upravleniem v matematicheski odnorodnom pole komp'yuternoj informacii* [Grafodinamicheskiye of system with network-centric control in mathematically uniform field of computer information]. *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov* [Control of big systems: collection of works]. Kursk, 2010, no. 30.1 (Special release), pp. 567-604. (In Russian).
4. Konovalov O.A., Konovalchuk E.V., Malykov K.A., Serbulov Yu.S. *Metod optimizacii struktury determinirovannoj setевой modeli* [Metod of optimization of structure of the determined network model]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii* [The Bulletin of the Voronezh state university. Series: Systems analysis and information technologies]. Voronezh, 2012, no. 2, pp. 111-116. (In Russian).
5. Kochkarov A.A., Salpagarov M.B., Elkanova L.M. *Diskretnaja model' strukturnogo razrushenija slozhnyh sistem* [The discrete model of structural corrupting of difficult systems]. *Problemy upravlenija* [Control Problems]. Kursk, 2007, no. 5, pp. 21-27. (In Russian).
6. Kochkarov A.A., Salpagarov M.B., Kochkarov R.A. *Topologicheskie aspekty razrushenija slozhnyh sistem s aciklicheskoj strukturoj* [Topological aspects of corrupting of difficult systems with acyclic structure]. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Control of big systems]. 2007, no. 17, pp. 103-120. (In Russian).
7. Serbulov Yu.S., Konovalov O.A., Kuripta O.V. *Upravlenie raspredeleniem i potencialom trudovyh resursov organizacii pri optimizacii struktur setevykh modelej* [Distribution control and the potential of work forces of the organization by optimization of structures of network models]. Voronezh, 2014, 191 p. (In Russian).
8. Ternovyh I.I. *Ob ustojchivosti nepreryvnyh nechetkih system* [About stability of the continuous indistinct systems]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Ma-tematika. Fizika* [Scientific lists of the Belgorod state university. Series: Mathematician. Physics] Belgorod, 2013, no. 26, pp. 43-51. (In Russian).
9. Alekseeva M., Dashkova E. Model checking approach to the correctness proof of complex systems. Proceedings of the Spring/Summer Young Researchers' Col-loquium on Software Engineering. Yekaterinburg, 2011, no. 5, pp. 65-68.
10. Ichiro Jikuya, Ichijo Hodaka Kalman Canonical Decomposition of Linear Time-Varying Systems. SIAM Journal on Control and Optimization, 2014, Vol. 52, no. 1, pp. 274-310
11. Musheng Wei, Xuehan Cheng, Qian Wang A Canonical Decomposition of the Right Invertible System with Appli-cations. SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications, 2010, Vol. 31, no. 4, pp. 1958-1981.
12. Wing Shing Wong Control Communication Complexity of Distributed Control Systems. SIAM Journal on Control and Optimization, 2009, Vol. 48, no. 3, pp. 1722-1742.

Сведения об авторах

Акамсина Надежда Валериевна – доцент кафедры информационных технологий и автоматизированного проектирования в строительстве ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: akamsina@vgasu.vrn.ru.

Коновалов Олег Анатольевич – преподаватель Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: Oleg-070707@yandex.ru.

Коробова Людмила Анатольевна – доцент кафедры информационных технологий моделирования и управления ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: lyudmila_korobova@mail.ru.

Сербулов Юрий Стефанович – профессор кафедры вычислительной техники и информационных систем ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: userbulov@vglta.vrn.ru.

Information about authors

Akamsina Nadezhda Valerievna – Associate Professor of information technologies and the automated design in construction of Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State Architectural and Construction University», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: akamsina@vgasu.vrn.ru.

Kononov Oleg Anatolyevich – Teacher of the Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: Oleg-070707@yandex.ru.

Korobova Lyudmila Anatolyevna – Associate Professor of information technologies of modeling and management of Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Engineering Technologies», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation, e-mail: lyudmila_korobova@mail.ru.

Serbulov Yuri Stefanovich – Professor of department of computer facilities and information systems of Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: userbulov@vglta.vrn.ru.

DOI: 10.12737/19980

УДК 630, 658.5.012.1

ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

кандидат экономических наук **О. И. Васильев**¹

Ю. А. Корныльева¹

¹ – Федеральное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Лесные селекционно-семеноводческие центры и тепличные комплексы создают сегодня новые взгляды на систему лесовосстановления в России, формируясь под общим термином объектов инфраструктуры лесовосстановления (ОИЛ). Такие объекты призваны обеспечивать решение стратегически важных для лесного хозяйства задач воспроизводства лесов. В статье рассмотрены подходы к управлению ОИЛ, существующие организационные структуры и организационно-правовые формы. Предложены пути обоснования перехода от государственного управления к частному при условии рассмотрения таких объектов как инвестиционно-привлекательных. Приведены факторы, влияющие на экономическую эффективность управления ОИЛ, и основные пути повышения эффективности с использованием методов процессного управления. Выбранные для