СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛИ РЕГИОНАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА КАК ГЕТЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Д.П. Ануфриев, О.М. Шикунская

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ),
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18*

Предмет исследования: в связи с наличием ветхого и аварийного жилья жилищная проблема является одной из наиболее актуальных в социальной сфере Астраханской области. Астраханский региональный строительный кластер включает в себя значительное количество строительных организаций, обслуживающие организации, занимающиеся подготовкой кадров для строительства, банки и другие кредитные организации, обеспечивающие население ипотечными кредитами, региональные, муниципальные властные структуры и общественные организации. Региональный строительный кластер является развивающейся социально-экономической системой (СЭС) гетерархического типа. Гетерархия сочетает в себе и элементы иерархии, и элементы рыночных отношений. Поэтому актуальной задачей является построение единого информационного пространства регионального строительного кластера на базе математических, функциональных и информационно-логических моделей.

Цели: функциональное и математическое моделирование гетерархической системы регионального строительного кластера для обеспечения разработки его информационного портала.

Материалы и методы: для построения структурно-функциональной модели регионального строительного кластера использована методология структурного анализа в нотациях IDEF0, IDEF3, Swimlane. В качестве инструментария структурно-функционального моделирования использовано CASE-средство — AllFusin Process Modeler r7. Математическое описание логики управления региональным строительным кластером базируется на теории множеств.

Результаты: разработан комплекс функциональных моделей с теоретико-множественным описанием системы. Модель бизнес-процессов в нотации IDEF0 хорошо отражает иерархию процессов, которая наилучшим образом описывает иерархические связи, преобладающие при стабильном функционировании регламентированных процессов. Для ее построения использована SADT-технология. При воздействии на СЭС внешних возмущений инерционное иерархическое управление перестает быть эффективным и преимущество получают горизонтальные управляющие связи, для описания которых и отражения логики процессов более целесообразно использовать модель нотации IDEF3. Для явного описания ролей и ответственности исполнителей конкретных процессов целесообразно использовать диаграмму SwimLane, которая является разновидностью диаграммы IDEF3, с целью построения единой информационной среды регионального строительного кластера. Логика взаимодействия процессов, отражаемая в диаграмме SwimLane, была описана математически посредством построения теоретико-множественной модели.

Выводы: все разработанные модели являются основой для дальнейшего информационно-логического и физического проектирования единой информационной среды Астраханского регионального строительного кластера. Компьютерная поддержка функционирования такой сложной системы позволит значительно повысить ее эффективность.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гетерархическая система, кластер, холон, бизнес-процесс, модель, диаграмма, нотация, управление, диаграмма SwimLane, перекресток слияния стрелок, перекресток разветвления стрелок

Благодарности. Авторы приносят благодарность анонимным рецензентам за сделанные замечания и рекомендации, способствующие повышению качества исследования.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ануфриев Д.П., Шикунская О.М. Структурно-функциональная и теоретико-множественная модели регионального строительного кластера как гетерархической системы // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 12 (111). С. 1435–1447.

STRUCTURALLY-FUNCTIONAL AND SET-THEORETIC MODELS OF THE REGIONAL CONSTRUCTION CLUSTER AS A HETERARCHICAL SYSTEM

D.P. Anufriev, O.M. Shikul'skaya

*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE),
18 Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation*

Subject: due to the existence of shabby and hazardous dwelling, the housing problem is one of the most relevant problems in the social sphere of the Astrakhan region. The Astrakhan regional construction cluster includes the significant number of

the construction organizations, the servicing organizations, which are engaged in the training of personnel for construction, the banks and other credit institutions, which provide the population with mortgage loans, and also regional, municipal authorities and public organizations. The regional construction cluster is the developing social and economic system of heterarchical type. The heterarchy combines both elements of hierarchy and elements of the market relations. Therefore, the task of creation of a common information space of a regional construction cluster on the basis of mathematical, functional and information-logical models is relevant.

Research objectives: use functional and mathematical modeling of heterarchical system of a regional construction cluster for development of its information portal.

Materials and methods: for creation of structurally-functional model of a regional construction cluster, the methodology of structural analysis in notations of IDEF0, IDEF3, Swimlane was used. As a tool for structurally-functional simulation, we used CASE-tool — AllFusion Process Modeler r7. The mathematical description of logic of regional construction cluster management is based on the theory of sets.

Results: the complex of functional models with the set-theoretic description of the system was developed. The business-process model in a notation of IDEF0 well reflects the process hierarchy that best describes the hierarchical communications prevailing in stable functioning of the regulated processes. For its creation the SADT technology was used. When the external disturbances affect the socio-economic system (SES), inertial hierarchical management ceases being effective and the advantage is given to horizontal managing directors of communication for description of which and for reflection of logic of processes it is more appropriate to use the model of the IDEF3 notation. For explicit description of roles and responsibility of performers of specific processes, it is expedient to use the chart SwimLane, which is variety of the chart IDEF3, in order to achieve the unified information environment of a regional construction cluster. The logic of process interaction reflected in the chart SwimLane was described mathematically by creation of a set-theoretic model.

Conclusions: All developed models form a basis for further information-logical and physical design of the unified information environment of the Astrakhan regional construction cluster. Computer support of the functioning of such a complex system will allow us to considerably increase its efficiency.

KEY WORDS: heterarchical system, cluster, holon, business-process, model, diagram, notation, management, joint, IDEF0, IDEF3

Acknowledgements. The authors are grateful to anonymous reviewers for the comments and recommendations that led to significant improvement of the research quality.

FOR CITATION: Anufriev D.P., Shikul'skaya O.M. Strukturno-funktsional'naya i mnozhestvenno-teoreticheskaya modeli regional'nogo stroitel'nogo klastera kak geterarkhicheskoy sistemy [Structurally-functional and set-theoretic models of the regional construction cluster as a heterarchical system]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 12 (111), pp. 1435–1447.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений, определяемых стратегией социально-экономического развития Астраханской области до 2020 г., является повышение качества жизни населения, включая создание комфортных условий его проживания. В настоящее время общая площадь ветхого и аварийного жилищного фонда составляет 10 % от общего объема жилищного фонда области. Поэтому жилищная проблема является одной из наиболее актуальных в социальной сфере Астраханской области [1–2].

Астраханский региональный строительный кластер состоит из 811 строительных организаций различных форм собственности, в основном, частной. Помимо этого, кластер включает обслуживающие организации, занимающиеся подготовкой кадров для строительства, банки и другие кредитные организации, обеспечивающие население ипотечными кредитами, властные структуры на уровне региона, муниципальных образований и общественных организации. Строительный кластер является развивающейся социально-экономической системой (СЭС) гетерархического типа [3–4]. Гетерархия — это способ организации, не являющийся ни рыночным, ни иерархическим. В то время как

иерархии предполагают строгую соподчиненность по уровням, а рынки — отношения полной независимости, гетерархии предполагают отношения взаимозависимости (interdependence). Она сочетает в себе и элементы иерархии, и элементы рыночных отношений. Гетерархическое управление является более гибким по сравнению с иерархическим и более организованным по сравнению с рыночными отношениями.

Одной из актуальных задач современной теории управления является построение теории систем управления, имеющих гетерархическую структуру. Однако развитие этого направления встречает ряд трудностей. Достаточно сложно оптимизировать систему, в которой каждое звено может самостоятельно принимать решения, например максимизировать свой функционал. Поэтому анализ и синтез сложных систем гетерархической структуры не может быть сведен к классической теории оптимальных систем. Сложная гетерархическая система принципиально является многокритериальной системой. Из этого вытекает главное требование к теории, которая описывает эволюцию управляемой сложной системы. Оно заключается в том, чтобы найти рациональную модель решаемой задачи управления и определить конкретный смысл в понятие ее

оптимальности. Как указано выше, социально-экономическая система регионального строительного кластера (СЭС РСК) имеет все признаки сложной гетерархической системы, поэтому поиск перспективных методов моделирования процессов функционирования и управления этой системой является актуальной задачей, эффективно решить которую невозможно без использования современных информационных технологий, обеспечивающих поддержку принятия управленческих решений, без создания единого информационного пространства регионального строительного кластера.

Гетерархическая организация бизнес-процессов строительного кластера и гетерогенность информационной среды делают кластер одним из сложнейших объектов информатизации. Поэтому построение единого информационного пространства регионального строительного кластера должно базироваться на математических, функциональных и информационно-логических моделях. Этим обусловлена актуальность данного исследования.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Известные в настоящее время концепции сложных систем существенно различаются между собой с точки зрения теории моделирования и управления [2–9]. Н.Н. Моисеев предложил считать главным признаком сложной системы ее иерархичность, так как по мере усложнения любой реальной системы в ней неизбежно возникает иерархическая структура, при которой отдельные подсистемы и звенья приобретают самостоятельные права обработки информации и принятия решений [9].

Однако в последние десятилетия в теории сложных систем и управления происходит мировоззренческий сдвиг к новой базовой модели функционирования таких систем [10–14]. Поиск решений в сложных, плохо формализуемых ситуациях успешнее реализуется в гетерархических системах на основе сетевого взаимодействия. Были выполнены теоретические разработки и созданы различные модели в области гетерархических систем [15–25]. Доказана необходимость информационного обеспечения вопросов управления регионального строительного кластера [26]. С этой целью выполнялось его моделирование бизнес-процессов [27]. Для построения информационно-логической модели такой сложной системы необходимо математическое описание бизнес-процессов. Решению этой задачи посвящено данное исследование.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для построения структурно-функциональной модели регионального строительного кластера использована методология структурного анализа в нотациях IDEF0, IDEF3, Swimlane [28].

Гетерархические социально-экономические системы (СЭС) занимают промежуточное положение между иерархическими и рыночными системами, т.е. могут вести себя и, как иерархические системы, и как рыночные системы. Поэтому для их структурно-функционального моделирования для описания различных свойств и способов функционирования целесообразно применять различные нотации.

При стабильном функционировании регламентированных процессов наиболее ярко проявляются иерархические связи. Модель бизнес-процессов в нотации IDEF0 хорошо отражает иерархию процессов. В ее основе лежит методология структурного анализа SADT (Structured Analysis and Design Technique).

Однако при воздействии на СЭС различных внешних возмущений инерционное иерархическое управление перестает быть эффективным. В этом случае преимущество получают горизонтальные управляющие связи. Модель нотации IDEF0 не может достаточно наглядно их представить.

Для отражения логики процессов, а также вертикальных и горизонтальных связей между ними более подходит нотация IDEF3 (Work flow diagramming). Она позволяет более подробно отобразить логику взаимодействия процессов гетерархической системы регионального строительного кластера. С помощью диаграммы Work flow в нотации IDEF3 можно описывать сценарии управления.

Для явного описания ролей и ответственности исполнителей конкретных процессов целесообразно использовать диаграмму SwimLane, которая является разновидностью диаграммы IDEF3.

В качестве инструментария структурно-функционального моделирования использовано CASE-средство — AllFusin Process Modeler r7.

Математическое описание логики управления региональным строительным кластером как гетерархической СЭС базируется на теории множеств.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Моделирование бизнес-процессов строительного кластера. Для описания иерархии процессов, преобладающей при отсутствии внешних возмущений, разработана модель бизнес-процессов регионального строительного кластера в нотации IDEF0. Вследствие развитой инфраструктуры Астраханского регионального строительного кластера моделируемая система включает в себя основные, управляющие, вспомогательные и обеспечивающие процессы (рис. 1). К основным процессам относится непосредственно строительство. Владельцами основных процессов являются крупные предприятия строительной отрасли, составляющие ядро кластера, а также развивающийся вокруг них малый и средний бизнес. Управление осуществляют региональные административные структуры. Владельцами вспомогательных и обеспечивающих

Рис. 1. Структура Астраханского регионального строительного кластера

процессов являются дополняющие предприятия. Все процессы этой системы представлены на диаграмме дерева узлов (рис. 2).

Вспомогательные и обеспечивающие процессы включают в себя подготовку и переподготовку кадров для строительной отрасли Астраханского региона, оказание финансовых и консультационных услуг. Подготовка кадров осуществляют три крупных вуза: Астраханский архитектурно-строительный университет, Институт градостроительства Астраханского государственного технического университета и факультет архитектуры и дизайна Астраханского государственного университета. Финансовое обеспечение, осуществляемое банками, состоит в предоставлении населению ипотечных кредитов. Юридические структуры оказывают юридическим и физическим лицам консалтинговые услуги.

Процессы управления строительного кластера делятся на три уровня управления. Их осуществляют холон административно-управленческих структур, а также холон бизнес-ядра кластера [3]. Гетерархическая структура системы определяет наряду с вертикальным управлением принятие решений на горизонтальном уровне при взаимодействии холон бизнес-ядра кластера и дополняющих предприятий (финансовых организаций и юридических структур) с потребителями продукции жилищного строительства — населением.

Внешняя среда кластера остается за границами моделируемой системы. Это совокупность факторов и объектов, не являющихся структурными составляющими кластера, но оказывающих влияние на формирование, функционирование и развитие как кластера в целом, так и отдельных его участников.

Рис. 2. Диаграмма дерева узлов бизнес-процессов Астраханского регионального строительного кластера

Внешние сущности оказывают возмущающие воздействия на СЭС.

Информационный портал осуществляет компьютерную поддержку всех бизнес-процессов регионального строительного кластера.

Функционирование гетерархической СЭС при воздействии внешних возмущений более наглядно может быть описана посредством диаграммы в нотации IDEF3 (Work flow diagramming). Для явного описания ролей и ответственности исполнителей конкретных процессов целесообразно использовать ее разновидность — диаграмму SwimLane.

Роли на диаграмме SwimLane определяются в соответствии с холонической структурой СЭС регионального строительного кластера. Они могут соответствовать как отдельным элементам нижнего уровня иерархии системы, так и группам-холонам, являющимся объединением этих элементов. Это зависит от целей лица, принимающего решения, и от масштаба решений управления.

ВУЗы и ССУЗы, банки и другие финансовые учреждения, юридические и консалтинговые фирмы, предприятия, составляющие ядро кластера, представлены на диаграмме SwimLane отдельными элементами системы нижнего уровня иерархии управления, которые могут объединяться в холоны для решения различных задач. Региональные административные структуры объединяются в холон 1. Холон 2 включает в себя холон 1 и предприятия — ядро кластера, предприятия — ядро кластера и дополняющие предприятия объединяются холон 3.

Диаграмма SwimLane бизнес-процессов строительного кластера представлена на рис. 3.

На Управление III уровня — операционный уровень (микроуровень), который представлен на диаграмме процессом 3, поступают управленческие решения тактического уровня управления. Холон 3 осуществляет управление III уровня. Он образован взаимодействием холонов бизнес-ядра кластера и дополняющих предприятий (финансовых организаций и юридических структур) с потребителями продукции жилищного строительства, т.е. населением. Управление III уровня непосредственно направлено на основные и вспомогательные процессы. Модели с портала строительного кластера, которые имеют низкий уровень абстракции: много деталей, максимальная детализация, управление динамикой потоков, — используются для принятия управленческих решений III уровня.

Общественные организации, которые представлены соответствующими объектами ссылок на диаграмме SwimLane, оказывают влияние на управленческие решения всех трех уровней.

Обучение (процесс 4), Консалтинг (процесс 5) и Финансовое обеспечение (процесс 6) относятся к вспомогательным процессам.

Учебные заведения являются владельцами процесса 4 — Обучение. Консалтинговые и юридические фирмы осуществляют консалтинг. Население и бизнес-структуры являются объектами этих двух процессов. Банки и другие финансовые учреждения выполняют функцию финансового обеспечения. Основные процессы осуществляются предприятиями ядра строительного кластера. Портал строительного кластера осуществляет информационную поддержку как основных, так и вспомогательных процессов.

Рис. 3. Диаграмма SwimLane бизнес-процессов Астраханского регионального строительного кластера

Внешние возмущения генерируются рынком, а также решениями правительства. Они представлены на диаграмме SwimLane соответствующими объектами ссылок. При воздействии на СЭС внешних возмущений преимущество получают горизонтальные связи. На основные, вспомогательные и управляющие процессы возмущения передаются через перекресток слияния J2 «Асинхронное или». В том случае, если владельцы указанных процессов способны стабилизировать СЭС или улучшить ее состояние, повысив эффективность системы посредством использования внутренних механизмов своего уровня, они воздействуют непосредственно на строительный объект, который представлен на диаграмме соответствующим объектом ссылки.

Если для решения возникших проблем недостаточно полномочий и ресурсов этого уровня, то управление передается Холону 3 через перекресток слияния J8 «Асинхронное или».

Через перекресток разветвления J3 «Исключающее или» осуществляется разделение потоков между перекрестком J8 и строительным объектом. Управляющее воздействие через перекресток разветвления «Асинхронное или» J3 либо распределяется на основные и вспомогательные процессы, либо управление передается на II тактический уровень Холону 2. Это зависит от возможностей операционного уровня. На перекрестке расщепления J4 «Исключающее или» потоки разделяются. На тактическом уровне управления в зависимости от его возможностей аналогично разделяются потоки на перекрестке разветвления J6 «Исключающее или»: управляющее воздействие может быть направлено на III (нижний) или I (верхний) уровень управления. После этого вступает в силу иерархическое управление.

По сравнению с иерархическим гетерархическое управление более гибкое, а по сравнению с рыночными отношениями более организованное.

Представленная гетерархическая СЭС РСК [19] включает в себя различные субъекты инвесторов, застройщиков, подрядчиков, организаций изыскателей и проектировщиков, органов государственной власти и местного самоуправления. Все эти элементарные структуры выполняют различные функции полного цикла строительства объекта, начиная его возведение с «нуля» и заканчивая сдачей в эксплуатацию. Они образуют сбалансированную систему. При этом все организации, входящие в кластер, кроме властных структур, занимают свои экономические ниши. Они формируют собственные портфели заказов и обеспечивают их. Эти заказы не всегда связаны непосредственно со строительством. Допустим, что при принятии каких-либо программ (федерального или регионального уровня) возникает потребность в возведении новых строительных объектов. Это может быть программа переселения жильцов из ветхого и аварийного жилья [12]. Для выполнения данной программы начинают возникать объединения из вышеперечисленных структур,

функционально готовые выполнить поставленную задачу. Временные объединения структур разрушаются после решения задач, определяемых введенной программой, и СЭС переходит в свое первоначальное состояние.

Математическая модель строительного кластера. Региональный строительный кластер представляет собой сложную СЭС. Обозначим ее S . Система S состоит из элементов и подсистем e_p , образующих множество $E_S = \{e_i\}$. Множество E_S состоит из двух множеств субъектов $subj$ и объектов obj (1):

$$E_S = subj \cup obj, subj = \{subj_j\}, obj = \{obj_q\}, \quad (1)$$

где $i = \overline{1; I}$, I — количество элементов системы S ; $j = \overline{1; J}$, J — количество объектов системы; $q = \overline{1; Q}$, Q — количество субъектов системы.

К субъектам относятся носители (владельцы) процессов принятия решений, лица, принимающие решения и непосредственно производители товаров (жилья и сопутствующих товаров) и услуг (финансирования, образовательных, консультационных и пр.).

К объектам относятся процессы, на которые распространяются решения ЛПР. Система S имеет холоническую структуру, т.е. ее элементы e_i могут объединяться в холоны (группы). Каждая из них также является элементом системы S . Составные элементы также могут произвольно объединяться между собой, образуя элементы более высокого порядка, т.е. подсистемы [29]. В связи с этим структура и состав системы S может динамически изменяться ($I \neq const$, $J \neq const$, $Q \neq const$).

Субъекты представлены на диаграмме SwimLane в виде ролей. Они отображены в левой части каждой полосы. Объекты obj_{jd} — процессы и внешняя ссылка «Строительный объект». Все элементы рис. 1, кроме общественных организаций, являются субъектами.

С системой S взаимодействуют элементы внешней среды, образующие множество $E^{ES} = \{e_{\xi}^{ES}\}$.

Элементы внешней e_{ξ}^{ES} среды представлены на диаграмме SwimLane в виде объектов ссылок, которые изображены в нижней части диаграммы (общественные организации, портал, решения правительства, рынок, население).

Население одновременно является и внешним элементом системы, формирующим возмещения системы, и объектом воздействия процессов обучения и консалтинг.

Атомарный элемент e_i СЭС имеет индивидуальные свойства (атрибуты) a_{ip}^{ind} . Составные элементы имеют групповые атрибуты a_{ip}^{group} , характеризующие группу объединенных для какой-либо общей цели элементов (холонов): при этом, как правило, $a_{ip}^{group} \neq \sum_i \sum_p a_{ip}^{ind}$. Поэтому в формуле (1) следует уточнить:

$$e_i = \{\text{subj}, \text{obj}, a_{ip}^{\text{ind}}, a_{ip}^{\text{group}}\}. \quad (2)$$

Значения свойств элементов СЭС могут быть детерминированными, т.е. не изменяться на временном отрезке $\Delta t = t_{z+1} - t_z$, где z — номер текущего или активного интервала T функционирования системы, или случайными, т.е. определяемыми непредсказуемым взаимодействием e_i .

Атрибуты субъектов — объем полномочий, мера компетентности, наличие ресурсов и т.д. Атрибуты объектов — свойства их выходов, которые являются показателями эффективности процессов. Идеальные значения показателей представляют собой цели процесса. Эффективность процесса определяется соотношением между степенью приближения к идеальному значению (цели) его показателей и затраченными на это ресурсами.

Взаимодействие элементов системы определяется действующей в системе структуры взаимосвязей (связи на диаграмме SwimLane (см. рис. 1) представлены линиями и стрелками):

$$R_S = \{r_{ik}\}, \quad (3)$$

где $i, k = 1 \dots n$ — порядковые номера взаимодействующих элементов системы, причем $i \neq k$.

Все элементы e_i системы подвергаются внутренним воздействиям d_{ik}^S со стороны других элементов e_k этой системы и внешним воздействиям $d_{i\epsilon}^{ES}$ со стороны элементов внешней среды e_{ϵ}^{ES} . Воздействие может оказывать положительное влияние (ведущее к улучшению состояния элемента), и отрицательное влияние (ухудшающее состояние элемента) в соответствии с установленными в системе критериями эффективности:

$$e_k \sim e_i \in E_S, \quad d_{ik} = \{d_{ik}^S\}; \quad (4)$$

$$e_{\epsilon}^{ES} \sim e_i \in E_S, \quad d_{i\epsilon} = \{d_{i\epsilon}^{ES}\}; \quad (5)$$

$$d_i = \{d_{ik}^S, d_{i\epsilon}^{ES}\}. \quad (6)$$

Внутренние воздействия d_{ik}^S отображаются на диаграмме SwimLane в виде связей между процессами. Возмущения объектов ссылок «Решения правительства» и «Рынок» генерируют внешние воздействия $d_{i\epsilon}^{ES}$, которые отображены на диаграмме в виде связей между процессами и объектами этих ссылок. Элементы системы также оказывают воздействия $d_{\epsilon i}^{ES}$ на внешние объекты (строительный объект и население). Население выступает и как часть рынка, и как самостоятельный элемент — объект обучения и консультаций.

Воздействия влияют на ресурсы и выходы процессов, эффективность, цели. Цели процессов также могут изменяться в зависимости от качественных и количественных показателей спроса.

Качественная и количественная величины взаимных воздействий зависят от имеющихся у объектов прав управления (полномочий). В рамках системного взаимодействия одни элементы систе-

мы S могут зависеть от других (быть подчиненными), причем, управляющий элемент $e_i^u \sim e_i \in E_S$ может иметь множество зависимых элементов. Множество зависимых элементов также может иметь множество управляющих ими элементов (т.е. $\forall e_k^u \exists e_i \in E_S$ и $\forall e_i \exists e_k^u \in E_S$).

Внутренние воздействия d_{ik}^S отображены на диаграмме в виде связей между процессами. Возмущения объектов ссылок «Решения правительства» и «Рынок» генерируют внешние воздействия $d_{i\epsilon}^{ES}$ которые отображены на диаграмме в виде связей между процессами и объектами этих ссылок. Элементы системы также оказывают воздействия $d_{\epsilon i}^{ES}$ на внешние объекты (строительный объект и население). Население выступает и как часть рынка, и как самостоятельный элемент — объект обучения и консультаций.

Воздействия могут влиять на ресурсы процессов, их выходы, эффективность, цели. Цели процессов также могут изменяться в зависимости от качественных и количественных показателей спроса.

Качественная и количественная величины взаимных воздействий зависят от имеющихся у объектов прав управления (полномочий). В рамках системного взаимодействия одни элементы системы S могут быть зависимыми от других (быть подчиненными элементами), причем управляющий элемент $e_i^u \sim e_i \in E_S$ может иметь множество зависимых элементов. Множество зависимых элементов также может иметь множество управляющих ими элементов (то есть $\forall e_k^u \exists e_i \in E_S$ и $\forall e_i \exists e_k^u \in E_S$).

При этом своим текущим состоянием зависимые элементы могут изменять атрибуты управляющих элементов системы (цели, направления развития, поведение). Взаимодействие управляющих и управляемых элементов системы носит двусторонний характер. Система взаимодействует с внешней средой. Это взаимодействие характеризуется набором детерминированных и случайных воздействий $d_{i\epsilon}^{ES}$ на систему S , вызванными ее откликами изменениями составной структуры элементов e_{ϵ}^{ES} и характера воздействий $d_{i\epsilon}^{ES}$.

Слияние стрелок воздействий от различных элементов системы осуществляется через соответствующие перекрестки слияния «Асинхронное или» (J7, J18). Разветвление стрелок воздействий — через соответствующие перекрестки разветвления стрелок «Асинхронное или» (J1, J2).

Таким образом, специфической особенностью всех элементов системы S является возможность случайного, т.е. непредсказуемого для лица, принимающего решения, изменения их свойств в зависимости от воздействий d_{ik}^S других элементов этой системы S , а также воздействий $d_{i\epsilon}^{ES}$ элементов внешней среды e_{ϵ}^{ES} . Свойства элементов СЭС S могут также изменяться также под воздействием управляющих корректив $u_i(t)$ от лица, принимающего решения. Вследствие этого значения атрибутов i -го элемента (атрибуты a_{ip}^{ind} и a_{ip}^{group})

в любой произвольный момент времени t функционирования системы S будут функциями исходных значений a_{ip0}^{ind} и a_{ip0}^{group} в момент времени t_0 , который принят лицом, принимающим решения, за момент начала функционирования системы S : $a_{ip}^{ind}(t_0) = a_{ip0}^{ind}$; $a_{ip}^{group}(t_0) = a_{ip0}^{group}$, а также направленных на них воздействий d_{ik}^S и $d_{i\zeta}^{ES}$ и управляющих корректив $u_i(t)$ от ЛПР:

$$\dot{a}_{ip}^{ind}(t) = f[a_{ip0}^{ind}, d_{ik}^S(t), d_{i\zeta}^{ES}(t), u_i^a(t), t]; \quad (7)$$

$$\dot{a}_{ip}^{group}(t) = f[a_{ip0}^{group}, d_{ik}^S(t), d_{i\zeta}^{ES}(t), u_i^a(t), t], \quad (8)$$

где $u_i^a(t)$ — управляющее воздействие ЛПР, представляющее собой действительный m -мерный переменный во времени вектор-столбец, определяющий переменную управления по свойствам для i -го элемента системы S ; $p = 1, 2 \dots p^*$ — порядковый номер свойства i -го элемента; $t \in T$ — переменное время.

На значения свойств элементов-объектов obj_{iq} могут накладываться ограничения в виде интервала возможных значений

$$a_{ip}^{ind} - \theta < a_{ip}^{ind} < a_{ip}^{ind} + \delta \Rightarrow \\ \Rightarrow a_{ip}^{group} - \max_{a_{ip}^{ind}} \theta < a_{ip}^{group} < a_{ip}^{group} + \max_{a_{ip}^{ind}} \delta, \quad (9)$$

где $\theta > 0$ и $\delta > 0$ представляют собой соответственно нижнюю и верхнюю границы интервала. Такие ограничения могут иметь место, например, когда, например, количество и номенклатура ресурсов системы S жестко ограничены внешней средой или ЛПР.

Кроме индивидуальных и групповых свойств, в момент времени t элементы системы S могут обладать аналогичным множеством индивидуальных и групповых целей, т.е. желаемых состояний системы, g_{il}^{ind} и g_{il}^{group} соответственно (при этом $g_{il}^{group} \neq \sum_i \sum_l g_{il}^{ind}$). Цели i -го элемента системы S , которые соответствуют начальному моменту времени t_0 , обозначим как g_{i10}^{ind} и g_{i10}^{group} . Эти цели дискретно или непрерывно (в зависимости от характера взаимодействия элементов системы) могут быть скорректированными как посредством управления ЛПР на основе выбранных критериев эффективности S , так и стихийно (в этом проявляется свойство самоорганизации СЭС), с учетом начальных значений целей и текущих изменений значений свойств этих элементов: $g_{il}^{ind}(t_0) = g_{i10}^{ind}$, $g_{il}^{group}(t_0) = g_{i10}^{group}$, а также изменений свойств и воздействий на эти элементы со стороны других элементов системы S и внешней среды:

$$\dot{g}_{il}^{ind}(t) = f[g_{i10}^{ind}, \dot{a}_{ip}^{ind}(t), u_i^g(t), t]; \quad (10)$$

$$\dot{g}_{il}^{group}(t) = f[g_{i10}^{group}, \dot{a}_{ip}^{group}(t), u_i^g(t), t], \quad (11)$$

где $l = 1, 2 \dots l^*$ — номер цели i -го элемента; $u_i^g(t)$ — управляющее воздействие ЛПР, представляющее действительный v -мерный переменный во времени вектор-столбец, обозначающий переменную управления по целям для i -го элемента системы S ; $t \in T$ — переменное время.

На значения ее целей СЭС, так же как и на свойства ее элементов, накладываются ограничения вида

$$g_{il}^{ind} - \eta < g_{il}^{ind} < g_{il}^{ind} + \mu \Rightarrow \\ \Rightarrow g_{il}^{group} - \max_{g_{il}^{ind}} \eta < g_{il}^{group} < g_{il}^{group} + \max_{g_{il}^{ind}} \mu,$$

где $\eta > 0$ и $\mu > 0$ — соответственно нижняя и верхняя границы интервала. Свойства $\dot{a}_{ip}^{ind}$ и $\dot{a}_{ip}^{group}$, взаимосвязи r_{ik}^S , цели g_{il}^{ind} и g_{il}^{group} элемента e_i в совокупности образуют состояние $\dot{w}_i$ этого элемента:

$$\dot{w}_i(t_z) = f \left[\sum_p \dot{a}_{ip}^{ind}(t_z), \sum_p \dot{a}_{ip}^{group}(t_z), \sum_k r_{ik}^S(t_z), \right. \\ \left. \sum_l g_{il}^{ind}(t_z), \sum_l g_{il}^{group}(t_z), \dot{w}_i(t_{z-1}), t_z \right],$$

где $t_z \sim t \in T$ — переменное время. В практике управления СЭС состояния такого рода выражаются обычно показателями эффективности функционирования ее элементов, заданными ЛПР. При этом на основе понятия о состоянии элемента $\dot{w}_i$ цели (10) и (11) можно переписать следующим образом:

$$\dot{g}_{il}(t_z) = f[\dot{w}_i(t_z), u_i^g(t), t], \quad (12)$$

где обозначения соответствуют (10) и (11).

Цели, индивидуальные и групповые свойства $\dot{a}_{ip}^{ind}(t)$ и $\dot{a}_{ip}^{group}(t)$, цели $\dot{g}_{il}(t_z)$, множество состояния и взаимосвязей R_S , $\dot{w}_i(t)$ элементов e_i СЭС определяют соответственно цели, $\dot{a}_n^S(t)$, цели $\dot{g}_n^S(t)$ и состояния $\dot{W}_S(t)$ рассматриваемой системы:

$$\dot{a}_n^S(t) = f \left[\sum_i \sum_p \dot{a}_{ip}^{ind}(t), \sum_i \sum_p \dot{a}_{ip}^{group}(t), R_S, u^a(t), t \right], \\ \dot{g}_b^S(t) = f \left[\sum_i \sum_l \dot{g}_{il}(t), u^g(t), t \right], \quad (13)$$

$$\dot{W}_S(t) = f \left[\sum_i \dot{w}_i(t), \sum_n \dot{a}_n^S(t), \sum_n \dot{g}_n^S(t), t \right], \quad (14)$$

где $u^a(t)$ — действительный Ψ -мерный переменный во времени вектор-столбец, обозначающий управляющее воздействие ЛПР — переменную управления по свойствам системы; $u^g(t)$ — действительный γ -мерный переменный во времени вектор-столбец, обозначающий управляющее воздействие ЛПР — переменную управления по целям системы; $n = 1 \dots N$, где N — количество свойств системы S ; $b = 1 \dots B$, где B — количество целей системы S ; $t \in T$ — переменное время. При этом количество свойств и целей системы S , как правило, значительно меньше суммарного количества соответствующих всем ее элементам свойств и целей: $n \ll ip$; $b \ll il$.

Рассмотрим функционирование перекрестков расщепления типа «Исключающее или» J8, J4 и J6 на диаграмме SwimLane бизнес-процессов строительного кластера (рис. 3).

В зависимости от свойств субъекта subj_k $\{a_k^{\text{ind}}\}$, $\{a_k^{\text{group}}\}$ (ресурсов и полномочий ЛПР), управляющего объектом obj_i , на значения свойств элементов-объектов obj_i могут накладываться ограничения в виде интервала возможных значений

$$a_{ip}^{\text{ind}} - \theta_k < a_{ip}^{\text{ind}} < a_{ip}^{\text{ind}} + \delta_k \Rightarrow \\ \Rightarrow a_{ip}^{\text{group}} - \max_{a_{ip}^{\text{ind}}} \theta_k < a_{ip}^{\text{group}} < a_{ip}^{\text{group}} + \max_{a_{ip}^{\text{ind}}} \delta_k,$$

где $\theta_k > 0$ и $\delta_k > 0$ — соответственно нижняя и верхняя границы интервала, определяемого свойствами управляющего субъекта e_k .

Действия k -го управляющего элемента r_k :

$$r_k = \begin{cases} u_{ik}^s, & \text{если } \theta < a_{ip}^{\text{ind}}(t) - a_{ip}^{\text{ind}}(t_0) < \delta, \\ v_{mk}^s, & \text{если иначе} \end{cases}$$

где e_i — объект, e_k и e_m — субъекты; u_{ik}^s — управляющее воздействие внутреннего элемента (субъекта) e_k на объект e_i ; v_{mk}^s — возмущающее воздействие внутреннего элемента (субъекта) e_k на субъект e_m (передача управления).

При этом свойства (ресурсы и полномочия) субъекта e_m $\{a_m^{\text{ind}}\}$, $\{a_m^{\text{group}}\}$ таковы, что допустимые границы изменения свойств объекта e_i шире: $\theta_m > \theta_k$ и $\delta_m > \delta_k$.

Таким образом, свойства a_n^s и цели g_b^s рассматриваемой СЭС представляют собой функции от агрегатов целей и свойств ее элементов, а уровень агрегации зависит от целей и задач, стоящих перед ЛПР, а также от принятых им критериев оценки эффективности управления СЭС.

Разработанная теоретико-множественная модель во взаимосвязи со структурно-функциональной моделью в нотации SwimLane, отражающие динамические свойства самоорганизации СЭС Астраханского регионального строительного кластера, являются базой для построения ее информационно-логической системы и проектирования портала.

ВЫВОДЫ

В процессе анализа регионального строительного кластера Астраханской области была показана его гетерархическая структура, обуславливающая наличие большого числа обрабатываемых гетерогенными информационными системами информационных потоков, которые в большинстве не взаи-

модействуют между собой, существенно затрудняя получение и обработку необходимой для выработки эффективных управляющих решений информации как от внешней среды, так и от элементов кластера. В работе обоснована необходимость создания единого информационного пространства Астраханского регионального строительного кластера.

Гетерархическая организация бизнес-процессов Астраханского строительного кластера и гетерогенность его информационной среды делают строительный кластер одним из самых сложных объектов информатизации. Этим обусловлена необходимость моделирования бизнес-процессов для формирования интегрированной информационно-коммуникационной среды Астраханского регионального строительного кластера.

Вследствие высокой сложности системы выполнено ее функциональное моделирование в нотациях IDEF0, IDEF3 и разработана диаграмма SwimLane, которая является модификацией диаграммы IDEF3.

SADT-диаграмма отражает иерархию процессов и иерархические связи, преобладающие при обычном функционировании регламентированных процессов. Однако после воздействия на систему возмущений извне инерционное иерархическое управление перестает быть эффективным. Горизонтальные управляющие связи получают преимущество. Для отражения логики взаимодействия процессов по горизонтали и вертикали диаграмма IDEF3.

С целью явного описания роли и ответственности исполнителей конкретных процессов, которые определяются в соответствии с холонической структурой регионального строительного кластера, для описания его бизнес-процессов разработана диаграмма SwimLane. Информационно-логическая и физическая модели системы ввиду сложности обработки ее информации системы должны базироваться на специализированном предметно-ориентированном математическом аппарате. Поэтому с целью построения единой информационной среды регионального строительного кластера логика взаимодействия процессов, отражаемая в диаграмме SwimLane, была описана математически посредством построения теоретико-множественной модели. Все разработанные модели являются основой для дальнейшего информационно-логического и физического проектирования единой информационной среды Астраханского регионального строительного кластера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфриев Д.П. Жилищный вопрос в социально-экономической системе региона (по материалам мониторингового социологического исследования) // Социально-гуманитарный вестник Прикаспия. 2016. № 2 (5). С. 17–24.
2. Ануфриев Д.П. Жилище как элемент социально-экономической системы региона: опыт прикладного исследования // Вестник МГСУ. 2014. № 2. С. 187–195.

3. Ануфриев Д.П. Управление строительным комплексом как социально-экономической системой: постановка проблемы // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 8–10.
4. Ануфриев Д.П. Региональный строительный кластер Астраханской области // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 1 (100). С. 99–106.
5. Бусленко Н.П., Калашиников В.В., Коваленко И.А. Лекции по теории сложных систем. М. : Сов. радио, 1973. 383 с.
6. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М. : Наука, 1978. 400 с.
7. Хиценко В.Е. Самоорганизация и менеджмент // Проблемы теории и практики управления. 1996. № 3. С. 120–124.
8. Хиценко В.Е. Эволюционный менеджмент // Менеджмент в России и за рубежом. 2000. № 1. С. 3–12.
9. Тупицына М.Н. Совершенствование механизма взаимодействия участников кредитного рынка как фактор экономического роста // Иерархические взаимосвязи в экономических системах: теоретико-прикладные аспекты : сб. ст. Пермь, ПГУ, 2005. С. 120–130.
10. Restructuring Networks: Legacies, Linkages, and Localities in Postsocialism / G. Grabher and D. Stark ed. London and New York: Oxford University Press, 1997.
11. Bummix В.А. Организация сложных систем. Самара : Изд-во СНЦ РАН, 2010. 66 с.
12. Ахметова М.И. Анализ механизмов взаимодействия субъектов системы венчурного инвестирования // Инновационное развитие экономики России: институциональная среда : материалы IV междунар. науч. конф. Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, Эконом. фак-т; 20–22 апр. 2011 г: сб. ст. / под ред. В.П. Колесова, Л.А. Тутова. М. : МАКС Пресс, 2011. Т. 4. С. 246–257.
13. Persky Yu.K., Dmitriev D.V. Interaction and interdetermination of competition processes and information asymmetry on the regional trade market // Economy of the region. 2010. Vol. 1. Pp. 182–187.
14. Kovaleva T.Yu., Baleevskih V.G. Identification of the educational clusters in the regional economy: theory, methodology and research results (a case study of Perm krai) // Journal of Econometrics and Financial Management. 2014. Vol. 2. No. 4. Pp. 153–162.
15. Жуланов Е.Е. Теоретико-методологический подход к измерению результатов иерархического управления территориальными социально-экономическими системами страны // Экономика и предпринимательство. 2014. № 2 (43). С. 53–59.
16. Токунова Г.Ф. Методология управления развитием строительного комплекса на основе кластерного подхода. СПб. : СПбГАСУ, 2012. 184 с.
17. Tokunova G.F. Basic provisions of methodology of control of development of a construction cluster // Log of Legal and Economic Researches. 2012. Vol. 4. Pp. 31–39.
18. Ануфриев Д.П. Математическая модель регионального строительного комплекса // Астрахань — дом будущего : тезисы II Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань : Изд. Сорокин, 2010. С. 58–73.
19. Volkov A.A., Batov E.I. Simulation of building operations for calculating building intelligence quotient // Procedia Engineering. 2015. Vol. 111. Pp. 845–848.
20. Volkov A.A., Batov E.I. Dynamic extension of building information model for «smart» buildings // Procedia Engineering. 2015. Vol. 111. Pp. 849–852.
21. Ануфриев Д.П., Холодов А.Ю. Разработка имитационной модели тактического уровня абстракции, моделирующей бизнес-процессы, возникающие при реализации долевого строительства на региональном рынке жилья // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2016. № 4 (18). Pp. 79–85.
22. Volkov A. General information models of intelligent building control systems: basic concepts, determination and the reasoning // Advanced Materials Research. 2014. vol. 838–841. pp. 2973–2976.
23. Volkov A., Chulkov V., Korotkov D. Intelligent building // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 1065–1069. Pp. 1606–1609.
24. Volkov A.A., Sukneva L.V. BIM-technology in tasks of the designing complex systems of alternative energy supply // Proceedings of the Procedia Engineering. 2014. Vol. 23. Pp. 377–380.
25. Anufriev D., Petrova I.Y., Shikulskaya O. Model of decision-making support in heterarchical system management of regional construction cluster // Creativity in Intellegent Technologies and Data Science Second Conference CIT&DS 2017, Volgograd, Russia, September 12–14, 2017, Proceedings Kravets et al. Eds.: CCIS 754. 2017. Pp. 317–330.
26. Ануфриев Д.П., Шиккульская О.М. Концепция интегрированной информационно-коммуникационной среды регионального строительного кластера // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2017. Т. 15. № 3. С. 5–14.
27. Ануфриев Д.П. Моделирование бизнес-процессов строительного кластера астраханского региона как гетерархической системы // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании : сб. мат. междунар. науч. конф. М. : МГСУ, 2017. С. 473–478.
28. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с AllFusion Process Modeler (BPwin 4.1). М. : Диалог-МИФИ, 2004. 236 с.
29. Bummix В.А. Организация сложных систем. Самара : Изд-во СНЦ РАН, 2010. 66 с.

Поступила в редакцию 1 сентября 2017 г.

Принята в доработанном виде 10 октября 2017 г.

Одобрена для публикации 28 ноября 2017 г.

О Б АВТОРАХ: Ануфриев Дмитрий Петрович — кандидат технических наук, доцент, ректор, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18, adr_2000@mail.ru;

Шикунская Ольга Михайловна — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пожарной безопасности и водопользования, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18, shikul@mail.ru.

REFERENCES

1. Anufriev D.P. Zhilishchnyy vopros v sotsial'no-ekonomicheskoy sisteme regiona (po materialam monitoringovogo sotsiologicheskogo issledovaniya) [Housing problem in social and economic system of the region (on materials of a monitoring sociological research)]. *Sotsial'no-gumanitarnyy vestnik Prikaspiya* [Social and humanitarian herald of Caspian region]. 2016, no. 2 (5), pp. 17–24. (In Russian)
2. Anufriev D.P. Zhilishche kak element sotsial'no-ekonomicheskoy sistemy regiona: opyt prikladnogo issledovaniya [Housing as an element of regional social and economic system: the experience of applied research]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 2, pp. 187–195. (In Russian)
3. Anufriev, D.P. Upravlenie stroitel'nykh kompleksom kak sotsial'no-ekonomicheskoy sistemoy: postanovka problemy [Management of the construction complex as a socio-economic system: the formulation of the problem]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2012, no. 8, pp. 8–10. (In Russian)
4. Anufriev D.P. Regional'nyy stroitel'nyy klaster Astrakhanskoy oblasti [Regional construction cluster of the Astrakhan region]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2017. vol. 12, no. 1 (100), pp. 99–106. (In Russian)
5. Buslenko N.P., Kalashnikov V.V., Kovalenko I.A. *Leksii po teorii slozhnykh sistem* [Lectures on the theory of complex systems]. Moscow, Sov. Radio Publ., 1973. 383 p. (In Russian)
6. Buslenko N.P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Modeling of complex systems]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 400 p. (In Russian)
7. Khitsenko V.E. Samoorganizatsiya i menedzhment [Modeling of complex systems]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya* [Problems of management theory and practice]. 1996, no. 3, pp. 120–124. (In Russian)
8. Khitsenko V.E. Evolyutsionnyy menedzhment [Evolutionary management]. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom* [Management in Russia and Abroad]. 2000, no. 1, pp. 3–12. (In Russian)
9. Tupitsyna M.N. Sovershenstvovanie mekhanizma vzaimodeystviya uchastnikov kreditnogo rynka kak faktor ekonomicheskogo rosta [Perfection of the mechanism of interaction of participants of the credit market as the factor of economic growth]. *Ierarkhicheskie vzaimosvyazi v ekonomicheskikh sistemakh: teoretiko-prikladnye aspekty : sb. st.* [Hierarchical interrelations in economic systems: teoretiko-applied aspects : collected papers] Perm', Perm State Universitet, 2005. Pp. 120–130. (In Russian)
10. Grabher G. and Stark D. ed. *Restructuring networks: legacies, linkages, and localities in postsocialism*. London and New York, Oxford University Press, 1997.
11. Vittikh V.A. *Organizatsiya slozhnykh sistem* [Organization of complex systems]. Samara, SNTs RAN, 2010. 66 p. (In Russian)
12. Akhmetova M.I. Analiz mekhanizmov vzaimodeystviya sub'ektov sistemy venchurnogo investirovaniya [Analysis of the mechanisms of interaction of the subjects of the venture investment system]. *Innovatsionnoe razvitie ekonomiki Rossii: institutsional'naya sreda : materialy IV mezhdunar. nauch. konf. Moskva, MGU imeni M.V. Lomonosova, Ekonom. fak-t; 20–22 apr. 2011 g: sb. st.* [Innovative Development of the Russian Economy: Institutional Environment : Materials of the IV International Conference. sci. Conf. Moscow, MV Lomonosov Moscow State University; Lomonosov, Econom. fact; 20–22 Apr. 2011: collected papers]. Moscow, MAKSPress Publ., 2011. Vol. 4. Pp. 246–257. (In Russian)
13. Persky Yu.K., Dmitriev D.V. Interaction and interdetermination of competition processes and information asymmetry on the regional trade market. *Economy of the Region*. 2010, vol. 1, pp. 182–187.
14. Kovaleva T.Yu., Baleevskikh V.G. Identification of the educational clusters in the regional economy: theory, methodology and research results (a case study of Perm krai). *Journal of Econometrics and Financial Management*. 2014, vol. 2, no. 4, pp. 153–162.
15. Zhulanov E.E. Teoretiko-metodologicheskiy podkhod k izmereniyu rezul'tatov ierarkhicheskogo up-

ravleniya territorial'nyimi sotsial'no-ekonomicheskimi sistemami strany [Theoretic-methodological approach to results measurement hierarchical management of the territorial social-economic systems of the country]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Journal of Economy and Entrepreneurship]. 2014, no. 2 (43), pp. 53–59. (In Russian)

16. Tokunova G.F. *Metodologiya upravleniya razvitiem stroitel'nogo kompleksa na osnove klaster'nogo podkhoda* [Methodology for managing the development of the building complex on the basis of the cluster approach]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2012. 184 p. (In Russian)

17. Tokunova, G.F. Basic provisions of methodology of control of development of a construction cluster. *Log of Legal and Economic Researches*. 2012, vol. 4, pp. 31–39.

18. Anufriev D.P. Matematicheskaya model' regional'nogo stroitel'nogo kompleksa [Mathematical model of a regional building complex]. *Astrakhan' — dom budushchego : tezisy II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Astrakhan — the house of the future : abstracts II International scientific and practical conference]. Astrakhan', Publisher Sorokin, 2010, pp. 58–73. (In Russian)

19. Volkov A.A., Batov E.I. Simulation of building operations for calculating building intelligence quotient. *Procedia Engineering*. 2015, vol. 111, pp. 845–848.

20. Volkov A.A., Batov E.I. Dynamic extension of building information model for “smart” buildings. *Procedia Engineering*. 2015, vol. 111, pp. 849–852.

21. Anufriev D.P., Kholodov A.Yu. Razrabotka imitatsionnoy modeli takticheskogo urovnya abstraktsii, modeliruyushchey biznes-protsessy, vznikayushchie pri realizatsii dolevogo stroitel'stva na regional'nom rynke zhil'ya [Development of an imitative model of the tactical level of abstraction modeling business processes arising from the implementation of shared construction in the regional housing market]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and construction bulletin of the Caspian region]. 2016, no. 4 (18), pp. 79–85. (In Russian)

22. Volkov A. General information models of intelligent building control systems: basic concepts, determi-

nation and the reasoning. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 838–841, pp. 2973–2976.

23. Volkov A., Chulkov V., Korotkov D. Intelligent building. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 1065–1069, pp. 1606–1609.

24. Volkov A.A., Sukneva L.V. BIM-technology in tasks of the designing complex systems of alternative energy supply. *Procedia Engineering*. 2014, vol. 23, pp. 377–380.

25. Anufriev D., Petrova I.Y., Shikul'skaya O. Model of decision-making support in heterarchical system management of regional construction cluster. *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science Second Conference CIT&DS 2017, Volgograd, Russia, September 12–14, 2017, Proceedings* Kravets et al. (eds.): CCIS 754, 2017, pp. 317–330.

26. Anufriev D.P., Shikul'skaya O.M. Kontseptsiya integrirovannoy informatsionno-kommunikatsionnoy sredy regional'nogo stroitel'nogo klastera [Concept of the Integrated Information and Communication Environment of the Regional Construction Cluster]. *Vestnik NGU. Seriya: Informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of the Novosibirsk State University. Series: Information Technologies]. 2017, vol. 15, no. 3, pp. 5–14. (In Russian)

27. Anufriev D.P. Modelirovanie biznes-protsessov stroitel'nogo klastera astrakhanskogo regiona kak geterarkhicheskoy sistemy [Modeling of business processes of a construction cluster of the Astrakhan region as a heterarchic system]. *Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noy nauke i obrazovanii : sb. mat. mezhdunar. nauch. konf.* [Integration, partnership and innovations in building science and education : proceedings of the international scientific conference]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering, 2017, pp. 473–478. (In Russian)

28. Maklakov S.V. *Modelirovanie biznes-protsessov s AllFusion Process Modeler (BPwin 4.1)* [Modeling business processes with AllFusion Process Modeler (BPwin 4.1)]. Moscow, Dialog-MIFI Publ., 2004. 236 p. (In Russian)

29. Vittikh V.A. *Organizatsiya slozhnykh sistem* [Organization of complex systems]. Samara, Izdatel'stvo SNTs RAN Publ., 2010. 66 p. (In Russian)

Received September 1, 2017.

Adopted in revised form October 10, 2017.

Approved for publication on November 28, 2017.

ABOUT THE AUTHORS: **Anufriev Dmitry Petrovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Rector, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE)**, 18 Tatischeva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation, adp_2000@mail.ru;

Shikul'skaya Ol'ga Mikhaylovna — Doctor of Technical Science, Professor, Department Chair, Fire Safety and Water Use Department, **Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (ASUACE)**, 18 Tatischeva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation, shikul@mail.ru.