

References

1. Kleinrock L. *Queueing Systems: Volume I, Theory*. New York, Wiley Interscience, 1975, 417 p. (Russ. ed.: Kleinrock L. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 432 p.
2. Altiok T., Melamed B., The case for modeling correlation in manufacturing systems. *IIE Trans.* 33, 2001, pp. 779-791. doi: 10.1023/A:1010949917158.
3. Kartashevskiy V.G., Kireeva N.V., Buranova M.A., Chupakhina L.R. Approximation of distributions in the problems of the analysis of self-similar traffic. *Third International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T)*, 2016, pp. 105-108.
4. Kartashevskii V.G., Kireeva, N.V., Buranova, M.A., Chupakhina, L.R. Modelirovanie i analiz sistem massovogo obsluzhivaniya obshchego vida s proizvolnimi raspredeleniyami vremennih parametrov sistemi [Simulation and analysis of generalized queue system with arbitrary distributions of system parameters]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2015, vol. 13, no. 3, pp. 252-258. doi: 10.18469/ikt.2015.13.3.03
5. Livny M., Melamed B., Tsiolis A.K. The impact of autocorrelation on queueing systems. *Management Science*, 1993, pp. 322-339. doi: 10.1287/mnsc.39.3.322.
6. Patuwo B.E., Disney R.L., McNickle D.C. The effects of correlated arrivals on queues. *IIE Trans.*, 1993, pp. 105-110. doi: 10.1080/07408179308964296.
7. Jagerman D.L., Balcioglu B., Altiok T., Melamed B. Mean waiting time approximations in the G/G/1 Queue. *Queueing Systems*, 2004, pp. 481-506. doi: 10.1023/B:QUES.0000027996.28824.89
8. Jagerman D.L., Melamed B., Willinger W. Stochastic modeling of traffic processes (invited chapter). *Frontiers in Queueing: Models and Applications in Science and Engineering*, ed. Dsha-lalow J.H. Boca Raton, FL, CRC Press, 1997, pp. 271-320.
9. Melamed B. An overview of TES processes and modeling methodology. *Performance Evaluation of Computer and Communications Systems*, eds. Donatiello L. and Nelson R., *Lecture Notes in Computer Science*. New York, Springer, 1993, pp. 359-393.
10. Jagerman D.L., Melamed B. The transition and autocorrelation structure of TES processes Part II: Special cases. *Stochastic Models*, 1992, pp. 499-527. doi: 10.1080/15326349208807236.
11. Melamed B. TES: A class of methods for generating autocorrelated uniform variates. *ORSA J. Computing*, 1991, pp. 317-329. doi: 10.1287/ijoc.3.4.317.
12. Shantikumar J.G., Buzacott J.A. On the approximation to the single server queue, *Internat. J. Prod. Res.*, 1980, vol. 18, no. 6, pp. 761-773. doi: 10.1080/00207548008919705.
13. Fischer W., Meier-Hellstern K. The Markov-modulated Poisson process (MMPP) cookbook, *Performance Evaluation*, 1992, vol. 18, no. 2, pp. 149-171. doi: 10.1016/0166-5316(93)90035-S.

Received 29.05.2018

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.5186 339.13

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОМ
«СТРОИТЕЛЬСТВО ВЫСОТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР ДЛЯ УСТАНОВКИ ИНФО-
КОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ».**

**ЧАСТЬ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
В ИНТЕРЕСАХ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОМ**

Пчеляков С.Н., Димов Э.М., Маслов О.Н.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, РФ

E-mail: pchelyakov@gmail.com

В статье решается задача статистического имитационного моделирования (СИМ) бизнес-процесса «Строительство высотных металлических опор для установки инфокоммуникационного оборудования» с использованием проектов повторного применения в интересах управления данным процессом при развитии и совершенствовании сетей мобильной связи в России. Описана предметная область моделирования, показаны актуальность и важность решения поставленной задачи. Выявлены проблемы, обуславливающие необходимость исследования

данного бизнес-процесса средствами СИМ. Представлены вербальная модель и подробная структурная схема бизнес-процесса. Даны краткое определение и обоснование целесообразности применения выбранного метода, включая методику проведения моделирования, обозначены ожидаемые результаты в интересах повышения эффективности управления процессом строительства высотных металлических опор. Статья предваряет вторую часть разработки, которая содержит описание программной реализации, разработанной СИМ-модели и анализ результатов, полученных с ее помощью.

Ключевые слова: *строительство высотных металлических опор, бизнес-процесс, моделирование бизнес-процессов, статистическое имитационное моделирование, метод Димова-Маслова, управление бизнес-процессами, нерефлекторные системы*

Введение

В настоящее время наблюдается значительный рост размеров сетей мобильной связи за счет размещения базовых станций радиосети на высотных металлических опорах. Строительство высотных металлических опор (далее ВМО) с использованием проектов повторного применения для размещения базовых станций радиосети сопряжено с применением эффективных и экономичных инженерных методов, которые обеспечивают соответствие технологической площадки требованиям мобильных операторов, а именно способствуют увеличению скорости реализации проекта (на 70-80% в сравнении со строительством классических башен связи [8]), улучшению качества производственных операций и скорой окупаемости вложенных инвестиций.

Кроме того, актуальность ВМО объясняется заинтересованностью мобильных операторов в быстром и доступном возведении сооружений связи в населенных пунктах, а также существенной экономией необходимых размеров земельного участка под строительство, что важно для владельца инфраструктуры и оператора мобильно связи. Элементы ВМО изготавливаются в условиях многоступенчатого контроля качества, а затем доставляются на место строительства и собираются с минимальными трудозатратами. Решение о применении технологий быстрого и вместе с тем высококачественного строительства часто обусловлено необходимостью соблюдения определенных временных ограничений. Однако процесс строительства попрежнему характеризуется значительной сложностью из-за высокой степени организационной фрагментарности и негативного влияния ряда случайных факторов на всех этапах производства. Вследствие этого возникают повышенные требования к планированию и качеству промежуточных результатов фаз процесса от закупки и изготовления материалов до ввода готовой опоры в эксплуатацию. При этом следует отметить, что

принципиально важным звеном цепочки данного бизнес-процесса является проектирование и выбор земельного участка для строительства. Исправление ошибок и неточностей, допущенных при проектировании, в дальнейшем окажется дорогостоящим мероприятием и повредит эффективности готового объекта – ВМО в целом.

Для строительства ВМО в населенных пунктах важно правильно определить последовательность операций процесса на стадии планирования, выбора земельного участка для строительства, обеспечить контроль выполнения типового проектного решения и строительство опоры строго в координатах выбранного земельного участка. В отличие от строительства типовых башен для радиосвязи возведение ВМО характеризуется повторяющимися процессами, для которых требуется тщательный комплексный анализ. Кроме того, необходимо учитывать разного рода информацию для выбора типового проекта опоры, итоговой стоимости, ресурсов, графика работ, качества и безопасности, что сопряжено с некоторыми трудностями и усложняет строительство.

Поэтому очевидна не только целесообразность детального анализа бизнес-процесса с целью учета множества случайных факторов, влияющих на темпы проектирования и строительства, но и необходимость повышения качества и эффективности управления им. В данном контексте немаловажно применение современных методов и средств, позволяющих производить объективный анализ проектирования и строительства. Процесс постановки и решения задач управления строительством относится к так называемым нерефлекторным сложным системам (СС)[1], эффективность управления которыми связана с наличием человеческого фактора, значительно усложняющим решение указанной задачи. Отсюда вытекает необходимость применения современных методов и средств исследования, моделирования и управления СС [2-5].

Задачи и цели метода имитационного моделирования

Главной задачей имитационного моделирования является выявление узких мест бизнес-процесса строительства ВМО и определение влияния случайных факторов в интересах управления с целью его улучшения. Поскольку бизнес-процесс в общем виде можно представить как механизм обслуживания заявок, его модель представима в терминах дискретно-событийного подхода. Однако, как уже было отмечено, исследуемый процесс является сложным и стохастическим, а значит, для полноценного анализа требуется статистическое исследование его как СС, то есть имитационное моделирование не может осуществляться в детерминированной среде.

Здесь более подходит моделирование обслуживания заявок в терминах моделей массового обслуживания и рационально применение компьютерного метода статистического имитационного моделирования (СИМ). В рамках СИМ существует несколько технологий и подходов, среди которых наиболее известны метод Монте-Карло (ММК), школа Форрестера-Медоуза [9] и метод имитационного моделирования СС, предложенный Н.П. Бусленко. В работе используется метод Димова-Маслова (МДМ), который является развитием метода Н.П. Бусленко.

Особенности МДМ – это направленность на плохоформализуемые и слабоструктурированные СС, системный подход с использованием разнородных знаний при формировании исходных данных для СИМ. В соответствии с МДМ необходимо выполнить ряд действий, в число которых входит содержательное описание и всестороннее исследование процесса, определение случайных факторов и законов их распределения, вывод математической модели, разработка на ее основе СИМ-модели, планирование и проведение компьютерного эксперимента с последующей статистической обработкой и интерпретацией результатов [9]. Выходными данными СИМ-модели являются число выполненных за период моделирования заявок на строительство, время их выполнения, графики и диаграммы динамики реализации проектов и другие показатели.

Статистическое имитационное моделирование по версии метода Димова-Маслова

Данный метод является развитием, как уже было сказано, метода Н.П. Бусленко [7], с успехом примененного для так называемых «производственных систем» Д.И. Голенко [8]. Основы СИМ

по МДМ изложены в работе Э.М. Димова [6], его развитию посвящены публикации [9-10] и др.

От других подходов СИМ по МДМ отличается уже на стадии постановки цели и задач моделирования, поскольку направлен на совершенствование управления СС или процессом, адаптирован для решения широкого круга прикладных задач различного содержания. Методика СИМ по МДМ предусматривает выполнение следующих основных этапов исследования СС [10]:

- содержательное описание объекта (реальной СС социально-экономического типа) в интересах СИМ с учетом особенностей рассматриваемой предметной области;
- определение состава случайных числовых величин (СЧВ), отражающих воздействие на СС (объект СИМ, моделируемый бизнес-процесс) конкретных стохастических факторов в соответствии со схемой ее описания;
- предварительное определение состава исходных данных, необходимых для проведения СИМ, применительно к условиям работы рассматриваемой СС;
- комплексное (в том числе статистическое) исследование СС как объекта СИМ;
- идентификация законов распределения СЧВ, признанных наиболее важными для СИМ рассматриваемой СС (объекта, бизнес-процесса);
- разработка математических моделей (ММ), соответствующих описанию частей СС (подсистем и элементов) и СС в целом;
- разработка моделирующего алгоритма, реализующего полученные ММ;
- разработка компьютерных программ для моделирования СС;
- разработка и описание задач управления СС, которые можно решить с помощью СИМ по МДМ;
- разработка и реализация плана компьютерного эксперимента, проводимого с СИМ-моделью СС;
- обработка, анализ и интерпретация выходных данных СИМ, а также любые другие необходимые варианты практического применения полученных результатов.

Можно видеть, что МДМ предполагает применение наиболее развитых (по сравнению с другими подходами) способов целенаправленного повышения эффективности управления СС на основе моделирования динамики (воспроизведения во времени процесса) их функционирования с учетом случайных факторов (в том числе различного рода неопределенностей), влияющих на принятие управленческих решений. Приклад-

ная ценность МДМ заключается в том, что он позволяет на основе хорошо апробированных и относительно простых графических средств, без потери необходимой точности и достоверности формализовать исследуемые СС (реальные объекты и бизнес-процессы) на обоснованном выбранном уровне их абстрагирования, а затем далее, так же сравнительно просто, перейти от содержательного описания СС к непосредственной программной реализации СИМ-модели – отметим, что моделирующий алгоритм будет при этом соответствовать машинному.

Сравнивая возможности и перспективы МДМ, мы видим также, что, с одной стороны, в отличие от нелинейной динамики и агентного подхода, он имеет прочный фундамент знаний в виде теорий управления и принятия решений; вероятностей и математической статистики; массового обслуживания и риска, является универсальным без ущерба для точности и глубины детализации СИМ-моделей. С другой стороны, МДМ является развитием агрегативного подхода Н.П. Бусленко на новом технологическом уровне – при моделировании дискретно-непрерывных и дискретных СС (объектов и процессов) с применением ММ теории систем массового обслуживания.

Это является позитивным отличием МДМ от системной динамики Форрестера-Медоуза, которая использует в качестве ММ дифференциальные уравнения и дает представление СЭС на достаточно высоком уровне абстракции – с обобщенными показателями, которые не всегда отвечают запросам пользователей. Метод агентного моделирования, напротив, работает на низком уровне абстракции и представляет СС в деталях, максимально подробно и конкретно – однако не располагает проработанными ММ, является достаточно «сырым» и существенно уступает МДМ в теоретическом плане.

На рисунке 1 изображена схема бизнес-процесса «Строительство высотных металлических опор для установки инфокоммуникационного оборудования». Начало бизнес-процесса определяется поступлением заявки заказа на строительство ВМО: оператор мобильной связи (представитель BIG4: МТС, «Вымпелком», «МегаФон», «Теле2») обращается к менеджеру и сообщает ему требования к объекту, определяет требования к будущей опоре [11]. Отдел строительства (подрядчик) исследует предполагаемое место строительства, фиксирует геодезические данные, климатические условия, свойства грунта и т.д., что позволяет определить пригодность местности для постройки, тип конструкции опоры, опреде-

лить технические характеристики будущего опоры и линии внешнего электроснабжения, влияющие на совокупную стоимость.

Менеджер коммерческого департамента рассчитывает стоимость услуги на основании действующих тарифов, согласовывает стоимость и сроки исполнения с клиентом (представителем оператора мобильной связи). В случае отказа клиента выполнение бизнес-процесса прекращается, и заявка считается отмененной. Если заказчик согласен, заключается клиентский заказ (договор с клиентом), на основании которого отдел строительства разрабатывает и утверждает заказ на строительство (строительный заказ) с подрядчиком. Если заказчик отклоняет данный клиентский заказ, клиентский заказ отправляется на доработку. В указанных операциях используется информационная система ВРМС, куда заносятся необходимые регистрационные сведения о клиенте и его заказе.

Затем руководитель проектов отдела строительства формирует календарно-сетевой график (далее КСГ), основываясь на нормативных сроках и других данных, собранных в процессе работы с клиентским заказом. На основании КСГ разрабатываются задания функциональным подразделениям и составляется КСГ по функциональным направлениям с более конкретными сроками исполнения.

На следующем этапе начинается фаза проектирования ВМО с использованием проектов повторного применения, которая состоит из трех стадий. Первая стадия предусматривает выбор проектов повторного применения опоры и повторного применения линии электроснабжения.

Третья стадия – это согласование экземпляра проектной документации (ПД) на конкретный объект. После согласования отдел проектирования подготавливает комплект ПД, обеспечивающий выполнение следующих работ бизнес-процесса. В процессе проектирования используется система управления проектами и портфель проектов повторного применения. Фаза проектирования заканчивается получением необходимых согласований для начала работ по строительству ВМО [11].

Строительной бригаде подрядчика предоставляются комплект документации, необходимый для устройства фундамента, установки опоры и ПД на типовые щиты для технологического присоединения к электрической сети. Одновременно начинается процесс резервирования комплектующих (комплект опоры с метизами, щит учета, щит распределительный), необходимых для

строительства опоры и линии внешнего электроснабжения. Отдел строительства формирует производственный план и анализирует запасы комплектующих для строительства. Если запасов недостаточно, поставщикам направляется заказ на недостающие комплектующие и осуществляется их закупка.

При наличии достаточного количества комплектующих запускается подпроцесс строительства ВМО. Полученные комплектующие проходит проверку качества и соответствия стандартам. Часть комплектующих может обладать дефектами и, следовательно, должна быть возвращена поставщику как продукция ненадлежащего

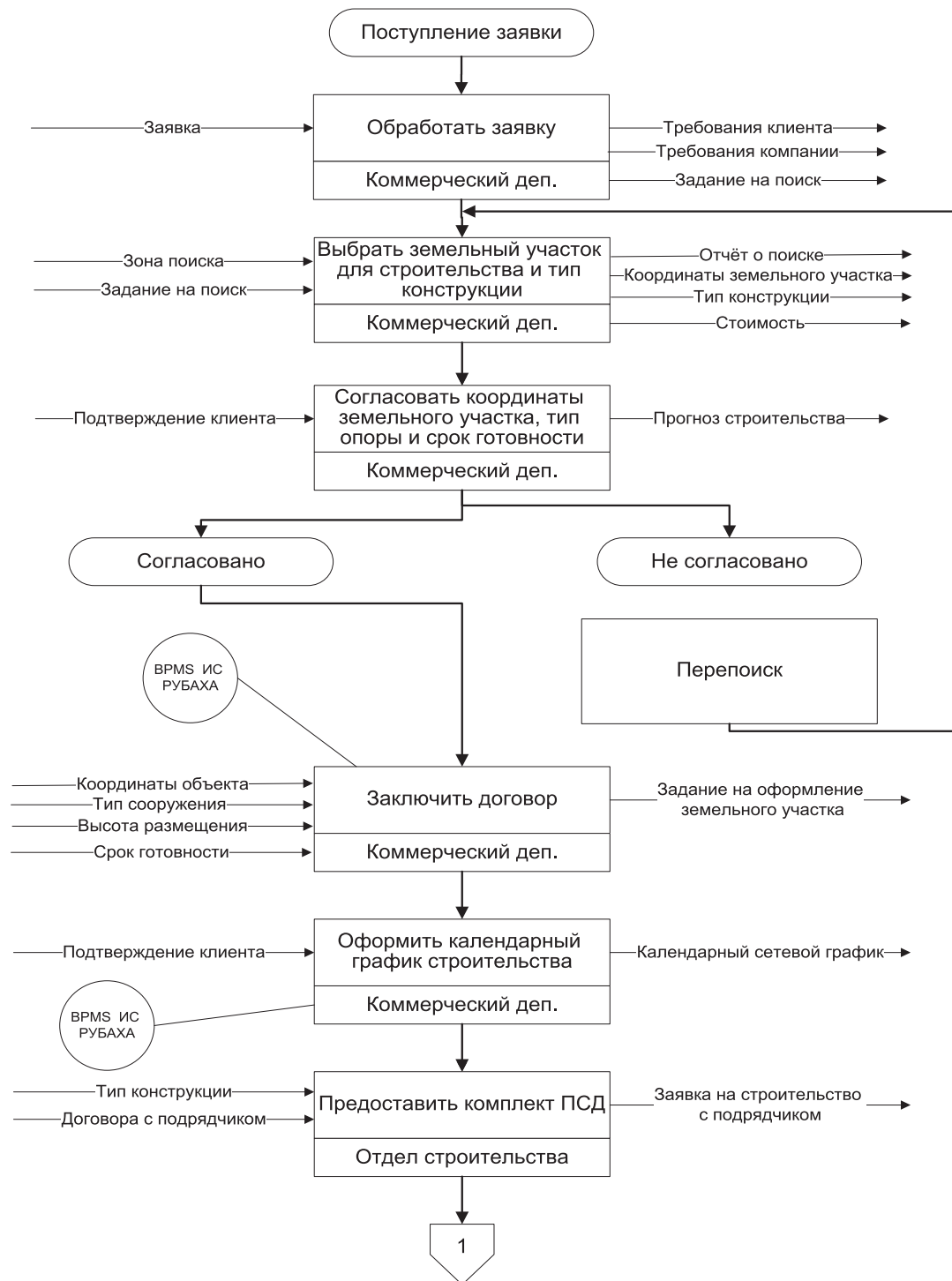


Рисунок 1. Схема бизнес-процесса «Строительство высотных металлических опор для установки инфокоммуникационного оборудования»

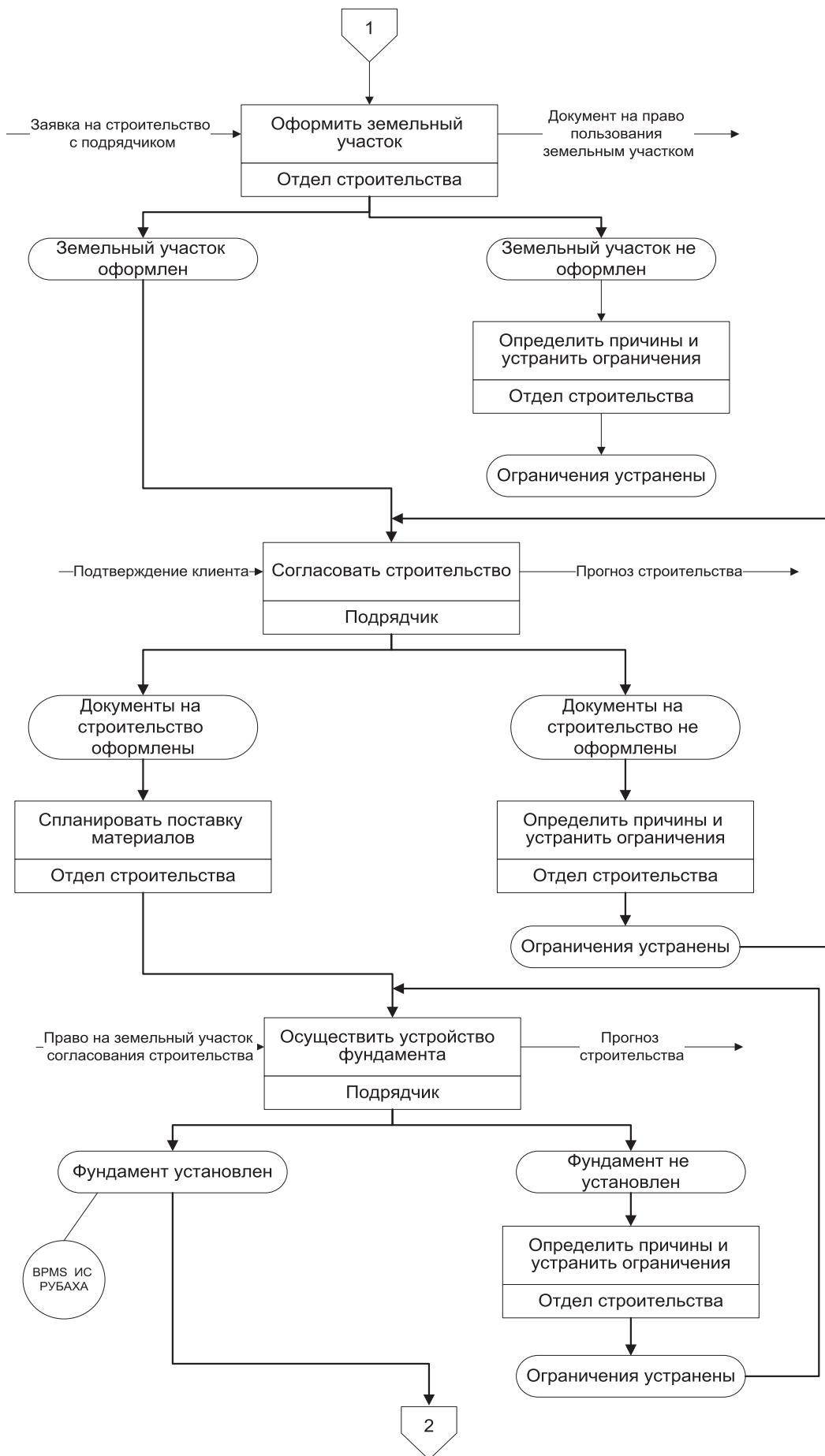


Рисунок 1 (продолжение)

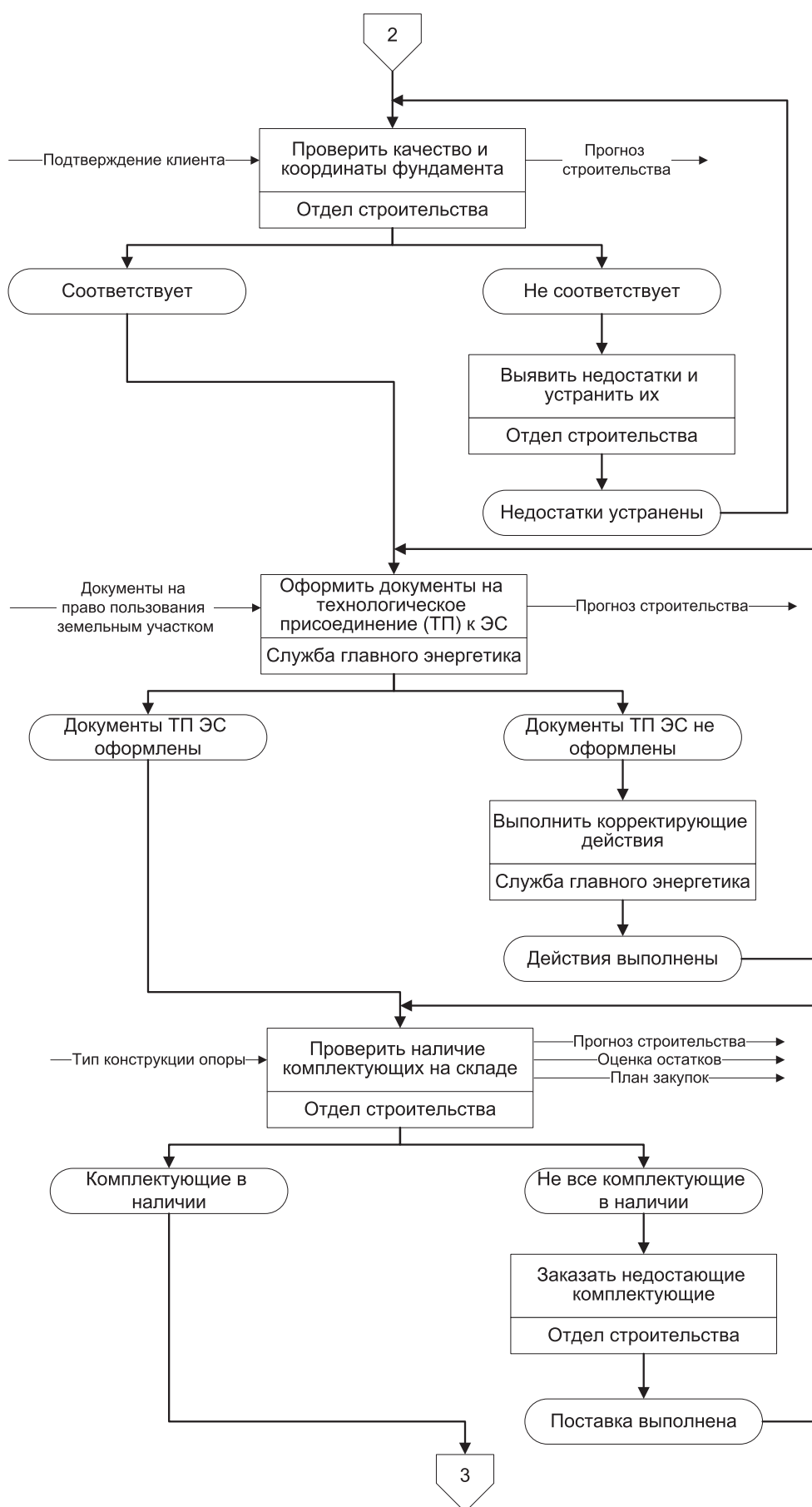


Рисунок 1 (продолжение)

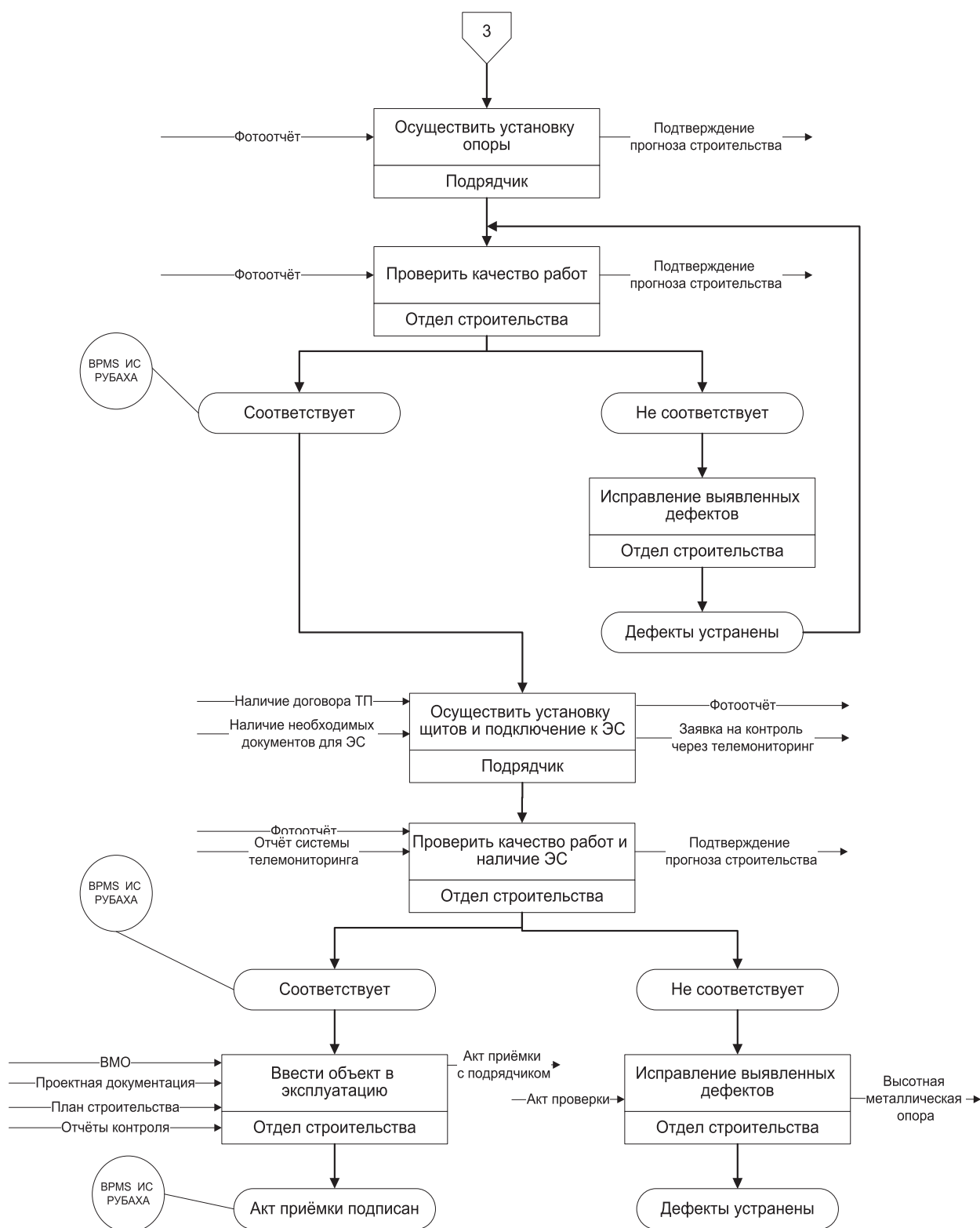


Рисунок 1 (окончание)

качества. Комплектующие, прошедший проверку, доставляются на место строительства опоры.

Прежде чем приступить к монтажу ВМО, необходимо проверить комплектность доставленных комплектующих. Для обеспечения темпов строительства проверка комплектующих про-

изводится на складе. В случае отсутствия части комплектующих либо их ненадлежащего качества информация доводится до руководства отдела строительства. Недостающий материал доставляется, некачественные комплектующие подлежат замене.

По завершении строительства всех элементов ВМО готовый объект подлежит комплексной проверке, результатом которой является или разрешение на ввод опоры в эксплуатацию, или соответствующий запрет. В последнем случае после необходимых изменений опора вводится в эксплуатацию и заказ считается выполненным.

Заключение

Статья содержит постановку задачи моделирования бизнес-процесса «Строительство высотных металлических опор для установки инфокоммуникационного оборудования» с использованием проектов повторного применения в интересах совершенствования управления строительством ВМО для установки инфокоммуникационного оборудования.

Процесс представлен в виде СС социально-экономического типа, его предварительное исследование ведет к выводу о том, что наиболее перспективным методом моделирования в интересах совершенствования управления процессом является СИМ по МДМ. Поэтому в статье даются краткое описание данного метода, основные этапы его реализации, статическая графическая модель исследуемого бизнес-процесса с описанием ее функционирования, а также необходимые элементы постановки задачи моделирования и перехода непосредственно к разработке СИМ-модели бизнес-процесса.

Литература

1. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.: Наука, 1975. – 528 с.
2. Димов Э.М., Маслов О.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Ч. 1. Реинжиниринг и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях. М.: ИРИАС, 2006. – 386 с.
3. Димов Э.М., Маслов О.Н., Пчеляков С.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Ч. 2. Имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях. – Самара: СНЦ РАН, 2008. – 350 с.
4. Димов Э.М., Диязитдинова А.Р., Маслов О.Н., Новаковский В.Ф. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Ч. 3. Интеллектуальные информационные системы и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях. – Самара: СНЦ РАН, 2017. – 440 с.
5. Димов Э.М., Маслов О.Н. Алгоритмизация квазиоптимального управления нерелевными системами с применением статистического имитационного моделирования // Инфокоммуникационные технологии – 2017. – Т.15. – №3. – С. 205-217. doi: 10.18469/ikt.2017.15.3.01.
6. Димов Э.М. Имитационное моделирование и алгоритмизация управления дискретно-непрерывным производством. Дисс. д.т.н. Ташкент, АН УзССР, 1990. – 306 с.
7. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968. – 380с.
8. Голенко Д.Н. Статистические модели в управлении производством. М.: Статистика, 1973. – 368 с.
9. Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Снижение неопределенности выбора управленческих решений с помощью метода статистического имитационного моделирования // Информационные технологии. – 2014. – №6. – С. 51-57.
10. Ануфриев Д.П., Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Статистическое имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в социально-экономических системах. Астрахань: Изд. АстИСИ, 2015. – 366 с.
11. Савицкий Г.А. Антенно-мачтовые сооружения. М.: Связьиздат, 1962. – 230 с.

Получено 16.07.2018

Пчеляков Сергей Николаевич, соискатель Кафедры прикладной информатики (ПИ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), менеджер по доставке клиентов для Мегафона, Nokia Networks. Тел. 8-926-170-70-53. E-mail: snips@yandex.ru

Димов Эдуард Михайлович, д.т.н., профессор Кафедры ПИ ПГУТИ. Тел. 8-906-340-37-41. E-mail: e.m.dimov@gmail.com

Маслов Олег Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ПИ ПГУТИ. Тел. 8-917-950-05-13. E-mail: maslov@psati.ru

BUSINESS PROCESS SIMULATION AND MANAGEMENT: «CONSTRUCTION OF HIGH-RISE METAL SUPPORTS FOR INSTALLATION OF INFOCOMMUNICATION EQUIPMENT». PART I. PROBLEM STATEMENT IN SIMULATION FOR MANAGEMENT OF BUSINESS PROCESS

Pchelyakov S.N., Dimov Ad.M., Maslov O.N.

Povolzhskiy State University of Telecommunication and Information, Samara, Russian Federation

E-mail: e.m.dimov@gmail.com

The paper solves the problem of statistical simulation of business process «Construction of high-rise metal supports for installation of infocommunication equipment» employing reusable projects in interests of managing this process in the development and improvement of mobile communication networks in Russia. The subject area of simulation is described. The relevance and importance of the problem are shown. The problems that necessitate the study of this business process by means of statistical simulation are identified. A verbal model and a detailed structural scheme of business process are presented. A brief definition and justification of the appropriateness of selected method application, including the method of simulation, are given. The expected results in the interest of improving the efficiency of managing the construction of high-rise metal supports are indicated. The paper anticipates the second part of development, which contains a description of software implementation of developed SS-model and analysis of results obtained with it.

Keywords: *construction of high-rise metal supports, business process, business process modeling, statistical simulation, Dimov-Maslov method, business process management, non-reflex system*

DOI: 10.18469/ikt.2018.16.4.06

Pchelyakov Sergey Nikolayevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Ph.D Student of the Department of Applied Informatics. Tel. +79261707053. E-mail: snips@yandex.ru

Dimov Eduard Mikhailovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Applied Informatics, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +79063403741. E-mail: e.m.dimov@gmail.com

Maslov Oleg Nikolayevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; the Head of Department of Applied Informatics, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +79179500513. E-mail: maslov@psati.ru

References

1. Moiseyev N.N. *Elementy teorii optimalnykh system* [Elements of the theory of optimal systems]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 528 p.
2. Dimov E.M., Maslov O.N., Skvortsov A.B. *Novyye informatsionnyye tekhnologii: podgotovka kadrov i obucheniye personala. Ch. 1. Reinzhiniring i upravleniye biznes-protsessami v infokommunikatsiyakh* [New information technologies: training and personnel training. Part 1. Reengineering and management of business processes in infocommunications]. Moscow, IRIAS Publ., 2006. 386 p.
3. Dimov E.M., Maslov O.N., Pchelyakov S.N., Skvortsov A.B. *Novyye informatsionnyye tekhnologii: podgotovka kadrov i obucheniye personala. Ch. 2. Imitatsionnoye modelirovaniye i upravleniye biznes-processami v infokommunikatsiyakh* [New information technologies: personnel training. P.2. Simulation modelling and management of business processes in infocommunications]. Samara, SNC RAN Publ., 2008, 350 p.
4. Dimov E.M., Diyazitdinova A.R., Maslov O.N., Novakovskiy V.F. *Novyye informatsionnyye tekhnologii: podgotovka kadrov i obucheniye personala. Ch. 3. Intellektualnyye informatsionnyye sistemy i upravleniye biznes-protsessami v infokommunikatsiyakh* [New information technologies: training and personnel training. Part 3. Intelligent information systems and business process management in infocommunications]. Samara, SNC RAN Publ., 2017. 440 p.
5. Dimov E.M., Maslov O.N. *Algoritimizatsiya kvazioptimalnogo upravleniya nereflektornymi sistemami s primeneniye statisticheskogo imitatsionnogo modelirovaniya* [Algorithmization of non-reflective systems]

- quasi-optimal control using statistical simulation modelling]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2017, vol. 15, no. 3, pp. 205-217. doi: 10.18469/ikt.2017.15.3.01.
6. Dimov E.M. *Imitacionnoe modelirovanie i algoritmizaciya upravleniya diskretno-nepreryvnym proizvodstvom* [Simulation and algorithmization of control of discrete-continuous production]. Diss ... doct. techn. science, Tashkent, 1990. 306 p.
 7. Buslenko N.P. *Modelirovaniye slozhnykh sistem* [Modeling complex systems]. Moscow, Nau-ka, 1968. 380 p.
 8. Golenko D.N. *Statisticheskiye modeli v upravlenii proizvodstvom* [Statistical models in production management]. Moscow, Statistika Publ., 1973. 368 p.
 9. Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Y.V. Snizhenie neopredelennosti vybora upravlencheskikh peshenij s pomoshh'yu metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya [Reducing Uncertainty in a Choice of Management Decisions Using Statistical Simulation]. *Informacionnye tekhnologii*, 2014, no. 6, pp. 51-57.
 10. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Y.V. Statisticheskoe imitacionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v social'no-ekonomicheskikh sistemah [Statistical simulation modeling and management of business processes in socio-economic systems]. Astrahan, AstrISMI Publ. 2015. 365 p.
 11. Savitskiy G.A. *Antenno-machtovyye sooruzheniya* [Antenna mast structures]. Moscow, Svyazizdat Publ., 1962. 230 p.

Received 16.07.2018

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 654.165

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА РАДИОРЕЛЕЙНЫМИ ЛИНИЯМИ СВЯЗИ

Шмаков Д.Б., Газизов Т.Р.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, РФ

E-mail: dshrfc@gmail.com

Рассматривается проблема эффективного использования ограниченного природного ресурса – радиочастотного спектра. Показано, что имеет место дефицит свободного радиочастотного ресурса в отдельных диапазонах радиочастот. На примере Томской области выполнена оценка эффективности использования радиочастотного спектра радиорелейными линиями диапазона 8 ГГц. Для проведения оценки выполнены расчеты потерь при распространении радиоволн и запаса на замирания на интервалах радиорелейной линии. При проведении расчетов использованы данные о подстилающей поверхности местности, полученные методом дистанционного зондирования земли с точностью до одной угловой секунды. Предложены возможные решения для повышения эффективности использования радиочастотного спектра.

Ключевые слова: управление радиочастотным спектром, радиорелейная линия, оценка эффективности

Введение

Радиосвязь продолжает играть важную роль в формировании информационной среды, которая необходима для стабильного развития производственного и научного потенциала страны, поддержания ее обороноспособности, а также для решения важных практических задач в социальной сфере и в государственном управлении за счет создания качественных систем коммуникации. Развитие инфраструктуры связи является важным фактором, способствующим росту деловой активности в стране и существенно влияющим на ее экономику. Отрасль связи РФ динамично развивается – происходит активное развертыва-

ние сотовых сетей связи четвертого и третьего поколений. При этом объем данных, передаваемых по этим сетям, ежегодно возрастает [1].

Роль цифровых радиорелейных линий связи (ЦРРЛ) в функционировании и развитии инфраструктуры связи России по-прежнему велика. Неравномерность распределения населения по территории страны обуславливает существование больших по площади слабозаселенных территорий с неразвитой инфраструктурой, для которых организация линий связи при помощи ЦРРЛ практически безальтернативна. Но их применение этими случаями не ограничивается. В настоящее время ЦРРЛ всех диапазонов радиочастот широко