

33. Kim N.V., Krylov I.G. Group application of BLA in problems of observation. *Trudy 9 Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Problemy sovershenstvovaniya robototekhnicheskikh i intellektual'nyh sistem letatel'nyh apparatov»* [Proc. 9th All-Russian scientific and technical conference "Problems of improvement of robotic and intellectual systems of aircraft". Moscow, MAI-PRINT Publ., 2012, pp.59-62.
34. Erofeeva V.A., Ivanskij Yu.V., Kiyayev V.I. Upravlenie roem dinamicheskikh ob"ektov na baze mul'tiagentnogo podhoda [Management of a swarm of dynamic objects on the basis of multiagentny approach]. *Kompyuternye instrumenty v obrazovanii*, 2015, no.6, pp. 34-42.
35. Tareque H., Hossain S., Atiquzzaman M. On the Routing in Flying Ad hoc Networks. *IEEE Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. ACSIS, 2015, vol. 5, pp. 1–9.
36. Singh S. K. A Comprehensive Survey on Fanet: Challenges and Advancements. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 2015, vol. 6 (3), pp. 2010-2013.
37. Yadav K., Nain A., Maakar S. Routing Protocols in FANET: Survey. *Proceedings of National Conference on Innovative Trends in Computer Science Engineering (ITCSE-2015)*, 2015, pp. 175-177.
38. Leonov A.V., CHaplyshkin V.A. Roevoj intellekt dlya upravleniya BPLA v FANET [Royeva intelligence for management of the UAV in FANET]. *Molodoj uchenyj*, 2016, no. 12, pp.314-317.
39. Alekhin I.N., Burdin V.A., Onishchenko S.G. Sposoby germetizacii opticheskikh muft dlya montazha v ehkstremaal'nyh usloviyah [Methods of sealing of optical sleeves for mounting in extremal conditions]. *Vestnik svyazi*, 2010, no. 1, pp.45-49.
40. TU 3587-005-43925010-98. Kabeli opticheskie marki OKLZH. Samara. ZAO Samarskaya opticheskaya kabel'naya kompaniya, 2006, 37 p.
41. Alekhin I.N., Burdin V.A., Nikulina T.G. Method of measurement of optical cable stiffness at low temperatures. *Proceedings of SPIE*, 2013, vol. 9156, 91560O. doi: doi:10.1117/12.2054261
42. Baucom J.L., Wagman R.S., Quinn C.M. Ice in Stranded Loose Tube and Single-Tube Fiber Optic Cables. *IWCS Proceedings*, 2003, pp. 472-477.
43. Mahieux C.A., Reifsnider, K.L. Property modeling across transition temperatures in polymers: a robust stiffness-temperature model. *Proceedings of Polymer*, 2001, vol. 42, pp. 3281-3291. doi: 10.1016/S0032-3861(00)00614-5
44. Fakirov, S. *Handbook of Thermoplastic Polyesters, Homopolymers, Copolymers, Blends and Composites*. Wiley-VCH, Weinheim. 2002. pp. 390-393.
45. Sutehall, R., Davies, M., Joslin, T., Griffioen, W., Heinonen, J. Blowing Of Mini-Cables In Extreme Ambient Weather Conditions. *IWCS Proceedings*, 2011, pp. 226-232.
46. Alekhin I.N., Burdin V.A., Nikulina T.G. Research of the loose-tube gel-filled optical cable stiffness at low temperatures. *Proceedings of SPIE*, 2014, vol. 9533, 95330L. doi:10.1117/12.2180719
47. Temple, K.D., Bringuier, A., Seddon, D.A., Wagman, R.S. Update: Gel-Free Outside Plant Fiber-Optic Cable Performance Results in Special Testing, *IWCS Proceedings*, 2007, pp. 561-566.

Received 09.12.2016

УДК 681.518: 339.13

**ВЛИЯНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАТИСТИЧЕСКОГО ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕРЕФЛЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ.
ЧАСТЬ 2. ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
ПО ВЛИЯНИЮ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИМ-МОДЕЛИ**

Ваулина К.В., Маслов О.Н.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: maslov@psati.ru

Во второй части статьи представлены методика и результаты исследования статистической имитационной модели (СИМ) бизнес-процесса «Предоставление государственных и муниципальных услуг» Многофункционального Центра областного уровня, реализованной в среде AnyLogic.

Ключевые слова: нерелекторные системы, статистическое имитационное моделирование, метод Димова-Маслова, неопределенность исходных данных, эффективность модели

Введение

В первой части настоящей статьи [1] представлена СИМ-модель бизнес-процесса «Предоставление государственных и муниципальных услуг» Многофункционального Центра (МФЦ) областного уровня, выбранная в качестве тестового объекта для исследования влияния неопределенности исходных данных на эффективность СИМ нерелефторной СС социально-экономического типа. Цель второй части статьи – анализ на примере тестовой СИМ-модели влияния неопределенности и кумулятивности (под которой понимается свойство минимального объема информации быть максимально полезной для достижения поставленной цели) исходных данных на эффективность СИМ.

Методика проведения эксперимента

Идею экспериментального исследования эффективности разработанной СИМ-модели иллюстрирует рис. 1: имеется M вариантов решения поставленной задачи с применением СИМ-модели, из которых лицом, принимающим решения (ЛПР), для дальнейшего рассмотрения выбирается наилучшее решение m с результатом Y_{mk} , где m [1; M] и k [1; K] – соответственно, номер варианта решения и номер результата решения поставленной задачи. Отметим, что на практике ЛПР рассматривает не одно, а минимум два решения: основное и запасное, но в данном случае это несущественно. В состав исходных данных для каждого варианта входят случайные величины (СВ) X_n ; n [1; M], которые моделируют стохастические факторы и в рамках СИМ «разыгрываются» (далее без кавычек) по методу Монте-Карло.

В [1] было высказано предположение, что на результаты СИМ достаточно сложным и заранее непредсказуемым образом, но должны влиять способы учета неопределенности знаний ЛПР об указанных факторах, то есть вероятностные законы разыгрывания СВ. Утверждалось, что ранжирование этих способов ведет разработчиков систем управления бизнес-процессами от модели в виде равномерного закона (РЗ) согласно принципу безразличия (что соответствует максимальной неопределенности знаний ЛПР) к конечным устойчивым моделям (включая нормальный закон) в условиях применимости предельных теорем теории вероятностей, и далее – к статистическим моделям, полученным в результате идентификация законов распределения СВ (см. традиционную методику СИМ [2]), и предложению использовать реальные данные, полученные при обследовании объекта СИМ, если такая

возможность имеется, – что соответствует минимальной и неустранимой в принципе неопределенности знаний ЛПР.

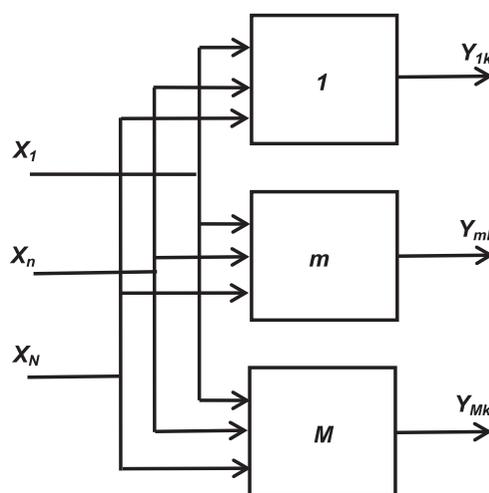


Рис. 1. Схема эксперимента с СИМ-моделью тестового бизнес-процесса

Предполагалось также, что по влиянию на результаты СИМ случайные факторы могут быть разделены на основные и второстепенные, что целесообразно учитывать как при разыгрывании соответствующих им СВ, так и при организации и проведении тестовых и рабочих экспериментов с СИМ-моделью.

Применительно к схеме на рис. 1 изложенное означает выбор решения m с наилучшим результатом Y_{mk} по традиционной методике СИМ в качестве эталона, а затем – отступление от этой методики в сторону упрощения и ускорения процедуры СИМ с контролем за получаемым результатом: если решение с номером m по-прежнему является наилучшим, сделанное отступление от эталона считается допустимым, если оно изменяется – признается недопустимым.

Поскольку число СВ достаточно велико (в [1] для тестовой СИМ-модели $N = 23$), конечное решение поставленной задачи при требуемом многократном прогоне СИМ-модели и реальных значениях M представляется излишне трудоемким и долгим. Поэтому в качестве первого приближения был рассмотрен случай $M = 1$; $K = 7$ с оценкой влияния на Y_{1k} замены законов разыгрывания СВ, полученных по результатам предварительного статистического исследования и моделирования X_{1-23} [1], на равномерный закон для тех же конечных пределов.

Методика СИМ-эксперимента предусматривала три этапа его проведения.

Этап I. Формирование массивов эталонных значений Y_{jk} путем прогона СИМ-модели с изначально зафиксированными исходными данными, полученными согласно традиционной методике СИМ (фигурируют с обозначением «эталон»).

Этап II. Выбор допустимого значения отклонения от эталона. В соответствии с [1] контролируемые данными СИМ-модели считались $K = 7$ следующих переменных:

- число заявок на оказание услуги;
- число оказанных услуг;
- число отказов на запросы о предоставлении услуг;
- число запросов, отправленных с курьером;
- количество выполненных электронных запросов;
- число невыполненных электронных запросов;
- число запросов в органы государственной власти (ОГВ).

Этап III. Подсчет числа минимальных и максимальных (Min и Max) отклонений. Цель данного этапа – определение границ, на основании которых можно сделать выводы о влиянии изменения закона распределения СВ X_{1-23} на выходные данные СИМ-модели Y_{jk} ; $K = 7$. Границы рассчитывались путем вычитания и суммирования эталона и величины отклонения, они фигурируют с обозначениями «Отклонение Min» и «Отклонение Max» соответственно. Обозначение «Все по P3» соответствует ситуации, когда в одном прогоне все СВ изменялись по P3; «СВn – P3» – когда в одном прогоне одна СВ изменялась по P3.

Результаты экспериментов с тестовой СИМ-моделью

Этап IV. Проведение эксперимента с учетом различных условий.

В ходе экспериментов будет меняться закон распределения следующих случайных величин: СВ1 – длительность приема документов; СВ2 – время ожидания недостающих документов; СВ3 – длительность приема недостающих документов; СВ4 – длительность анализа КД регистратором; СВ5 – длительность анализа поступившего дела; СВ6 – длительность подготовки документов для отправки МВ-запроса в ОГВ; СВ7 – длительность подготовки электронного запроса; СВ8 – длительность подготовки посылки в ОГВ; СВ9 – длительность доставки посылки в ОГВ; СВ10 – длительность анализа КД в ОГВ; СВ11 – время ожидания недостающих документов из МФЦ; СВ12 – длительность оформления результата запроса; СВ13 – длительность перевозки результата запроса; СВ14 – время ожидания заявителя; СВ15 – время выдачи результата услуги заявителю. В экспериментах фигурирует также СВ23 – интенсивность поступления заявок (чел/час), которая изменяется согласно расписанию интенсивности.

Допустимыми считались отклонения от эталона в пределах $\pm 20\%$.

Необходимо проследить влияние изменений исходных данных на переменные СИМ-модели (выходные значения): *kpost* – текущее число поступивших заявок на оказание услуги; *kokaz* – текущее число ока-

Таблица 1.1. Эксперимент №1. Случайные величины

	СВ1	СВ2	СВ3	СВ4	СВ5	СВ6	СВ7	СВ8	СВ9	СВ10	СВ11	СВ12	СВ13	СВ14	СВ15	СВ23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	212	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
Все по P3	2674	0	0	0	2511	218	156	97	19	55	6	30	30	2274	2270	2698

Таблица 1.2. Эксперимент №1. Выходные данные СИМ-модели

	<i>kpost</i>	<i>kokaz</i>	<i>kotk</i>	<i>kzapogv</i>	<i>knelzap</i>	<i>kvelzap</i>	<i>kzapkur</i>
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263	2059	20	216	15	142	75
\mathcal{E}_{max}	3395	3089	30	325	23	212	113
Все по P3	2698	2270	28	224	29	127	97

занных услуг; kotk – текущее число отказов; kzapogv – текущее число МВ-запросов в ОГВ; knelzap – текущее число невыполненных электронных запросов в ОГВ; kvelzap – текущее число выполненных электронных запросов в ОГВ; kzapkur – текущее число отправленных запросов в ОГВ курьером.

Эксперимент №1. Все СВ изменялись по РЗ (см. таблицу 1.1). В допустимый интервал вошли отклонения 9 из 15 СВ: СВ1, СВ5, СВ6, СВ7, СВ8, СВ9, СВ11, СВ14, СВ15, СВ23 и отклонения 5 из 7 переменных: kpost, kokaz, kotk, kzapogv, kzapkur (см. таблицу 1.2).

Таблица 2.1. Эксперимент №2. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14,4	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	21,6	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB1 по РЗ	2406	2	2	2	2264	242	164	108	21	105	9	84	81	2183	2181	2447

Таблица 2.2. Эксперимент №2. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB1 по РЗ	2447	2181	21	250	21	143	108

Таблица 3.1. Эксперимент №3. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	8	82	3092	3089	3395
CB2 по РЗ	2822	0	0	0	2659	262	194	91	17	85	5	72	68	2581	2579	2822

Таблица 3.2. Эксперимент №3. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB2 по РЗ	2822	2579	25	266	19	175	91

Таблица 4.1. Эксперимент №4. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB3 по P3	2703	8	8	8	2549	248	180	87	17	85	4	70	70	2493	2487	2710

Таблица 4.2. Эксперимент №4. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB3 по P3	2710	2487	23	250	15	165	87

Таблица 5.1. Эксперимент №5. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB4 по P3	2828	5	5	5	2664	267	196	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829

Таблица 5.2. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB4 по P3	2829	2574	25	271	19	177	94

Таблица 6.1. Эксперимент №6. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB5 по P3	2825	3	3	3	2644	264	198	88	17	85	2	72	68	2571	2561	2829

Таблица 6.2. Эксперимент №6. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB5 по P3	2829	2561	30	266	20	178	88

Таблица 7.1. Эксперимент №7. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB6 по P3	2840	5	5	5	2648	233	164	95	19	70	6	48	48	2570	2568	2843

Таблица 7.2. Эксперимент №7. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB6 по P3	2843	2568	34	239	20	144	95

Эксперимент №4. По P3 изменялась CB3 (см. таблицу 4.1). В допустимый интервал вошли отклонения 12 из 15 CB: CB1, CB5, CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CB11, CB12, CB13, CB14, CB15, CB23 и отклонения 6 из 7 переменных: kpost, kokaz, kotk, kzapogv, kvelzap, kzapkur. (см. таблицу 4.2).

Эксперимент №5. По P3 изменялась CB4 (см. таблицу 5.1). В допустимый интервал вошли отклонения всех 16 CB и отклонения всех 7 переменных (см. таблицу 5.2).

Эксперимент №6. По P3 изменялась CB5 (см. таблицу 6.1). В допустимый интервал вошли отклонения 14 из 15 CB: CB1, CB2, CB3, CB4, CB5, CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CB12, CB13, CB14, CB15, CB23 и отклонения всех 7 переменных (см. таблицу 6.2).

Эксперимент №7. По P3 изменялась CB6 (см. таблицу 7.1). В допустимый интервал вошли отклонения 12 из 15 CB: CB1, CB2, CB3, CB4, CB5, CB6, CB7, CB8, CB9, CB11, CB14, CB15, CB23 и отклонения 6 из 7 переменных, а именно kpost, kokaz, kzapogv, knelzap, kvelzap, kzapkur (см. таблицу 7.2).

Эксперимент №8. По P3 изменялась CB7 (см. таблицу 8.1). В допустимый интервал вошли отклонения 13 из 15 CB: CB1, CB2, CB3, CB4, CB5, CB8, CB9, CB10, CB11, CB12, CB13, CB14, CB15, CB23 и отклонения 5 из 7 переменных: kpost, kokaz, kotk, knelzap, kzapkur (см. таблицу 8.2).

Эксперимент №9. По P3 изменялась CB8 (см. таблицу 9.1). В допустимый интервал вошли отклонения 10 из 15 CB: CB1, CB5, CB6, CB8, CB9, CB10, CB12, CB13, CB14, CB15, а также CB23 и отклонения 6 из 7 переменных: kpost, kokaz, kotk, kzapogv, kzapkur (см. таблицу 9.2).

Эксперимент №10. По P3 изменялась CB9 (см. таблицу 10.1). В допустимый интервал вошли отклонения 9 из 15 CB: CB1, CB5, CB8, CB9, CB10, CB12, CB13, CB14, CB15, CB23 и отклонения 4 из 7 переменных: kpost, kokaz, kotk, kzapkur (см. таблицу 10.2).

Эксперимент №11. По P3 изменялась CB10 (см. таблицу 11.1). В допустимый интервал вошли отклонения 11 из 15 CB: CB1, CB5, CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CB12, CB13, CB14, CB15, CB23 и отклонения всех 7 переменных (см. таблицу 11.2).

Таблица 8.1. Эксперимент №8. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB7 по P3	2785	5	5	5	2615	206	138	88	17	85	4	71	71	2557	2531	2794

Таблица 8.2. Эксперимент №8. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB7 по P3	2794	2531	23	210	16	122	88

Таблица 9.1. Эксперимент №9. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB8 по P3	2821	9	9	9	2672	217	149	93	18	90	10	72	72	2549	2549	2822

Таблица 9.2. Эксперимент №9. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB8 по P3	2822	2549	26	226	15	134	93

Таблица 10.1. Эксперимент №10. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB9 по P3	2753	9	9	9	2597	200	138	77	15	75	7	63	63	2486	2486	2754

Таблица 10.2. Эксперимент №10. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB9 по P3	2754	2486	30	206	9	129	77

Таблица 11.1. Эксперимент №11. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB10 по P3	2791	8	8	8	2637	250	177	103	20	100	8	79	78	2573	2563	2804

Таблица 11.2. Эксперимент №11. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB10 по P3	2804	2563	30	258	22	155	103

Таблица 12.1. Эксперимент №12. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB11 по P3	2905	9	9	9	2729	218	155	86	17	85	11	52	52	2604	2604	2908

Таблица 12.2. Эксперимент №12. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263	2059	20	216	15	142	75
\mathcal{E}_{max}	3395	3089	30	325	23	212	113
CB11 по P3	2908	2604	26	229	12	143	86

Эксперимент №12. По P3 изменялась CB11 (см. таблицу 12.1). В допустимый интервал вошли отклонения 8 из 15 CB: CB1, CB5, CB6, CB8,

CB9, CB10, CB14, CB15, CB23 и отклонения 6 из 7 переменных: kpost, kokaz, kotk, kzapogv, kvelzap, kzapkur. (см. таблицу 12.2).

Таблица 13.1. Эксперимент №13. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB12 по P3	2857	9	9	9	2690	233	155	104	20	95	10	65	65	2547	2547	2858

Таблица 13.2. Эксперимент №13. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263	2059	20	216	15	142	75
\mathcal{E}_{max}	3395	3089	30	325	23	212	113
CB12 по P3	2858	2547	29	243	16	139	104

Таблица 14.1. Эксперимент №14. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2263	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB13 по P3	2918	9	9	9	2733	194	139	74	14	65	7	43	43	2617	2617	2920

Таблица 14.2. Эксперимент №14. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263	2059	20	216	15	142	75
\mathcal{E}_{max}	3395	3089	30	325	23	212	113
CB13 по P3	2920	2617	28	197	12	127	74

Эксперимент №13. По P3 изменялась CB12 (см. таблицу 13.1). В допустимый интервал вошли отклонения 10 из 15 СВ: CB1, CB5, CB6, CB8, CB9, CB10, CB12, CB13, CB14, CB15, CB23 и отклонения 5 из 7 переменных, а именно kpost, kokaz, kotk, kzapogv, kzapkur (см. таблицу 13.2).

Эксперимент №14. По P3 изменялась CB13 (см. таблицу 14.1). В допустимый интервал вошли отклонения 4 из 15 СВ: CB1, CB5, CB14, CB15, CB23 и отклонения 3 из 7 переменных: kpost, kokaz, kotk. (см. таблицу 14.2).

Эксперимент №15. По P3 изменялась CB14 (см. таблицу 15.1). В допустимый интервал вошли отклонения 13 из 15 СВ: CB1, CB2, CB3, CB4, CB5, CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CB12, CB14, CB15, CB23 и отклонения всех 7 переменных (см. таблицу 15.2).

Эксперимент №16. По P3 изменялась CB15 (см. таблицу 16.1). В допустимый интервал вошли отклонения 14 из 15 СВ: CB1, CB2, CB3, CB4, CB5, CB6, CB7, CB8, CB9, CB10, CB12, CB13, CB14, CB15, CB23 и отклонения всех 7 переменных (см. таблицу 16.2).

Таблица 15.1. Эксперимент №15. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	226
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	309	3089	3395
CB14 по P3	2857	6	6	6	2688	261	184	105	21	105	8	82	82	2570	2570	2858

Таблица 15.2. Эксперимент №15. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB14 по P3	2858	2570	25	269	20	164	105

Таблица 16.1. Эксперимент №16. Случайные величины

	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
Эталон	2828	5	5	5	2664	267	195	94	18	90	5	72	68	2577	2574	2829
\mathcal{E}_{min}	2262	4	4	4	2131	214	156	75	14	72	4	58	54	2062	2059	2263
\mathcal{E}_{max}	3394	6	6	6	3197	320	234	113	22	108	6	86	82	3092	3089	3395
CB15 по P3	2804	6	6	6	2655	228	163	92	18	85	7	68	67	2590	2590	2808

Таблица 16.2. Эксперимент №16. Выходные данные СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263,2	2059,2	20	216	15,2	141,6	75,2
\mathcal{E}_{max}	3394,8	3088,8	30	325,2	22,8	212,4	112,8
CB15 по P3	2808	2590	29	232	20	143	92

Дифференциация стохастических факторов по результатам СИМ

Рассмотрим влияние исходных данных разных СВ на результаты СИМ. В таблице 17 представлены значения N_{CB} числа СВ, отклонения которых не вошли в допустимый интервал $\pm 20\%$ при изменении закона распределения «фиксированной» СВ с номером n : CB_n на равномерный при прогоне тестовой СИМ-модели (эталонные значения N_{CB} были изменены при N прогонах тестовой СИМ-модели более чем на $\pm 20\%$). Из таблицы 17 видно, что исходные данные СВ4 (длительность анализа

КД-регистратором) не влияют на значения других СВ и переменных, следовательно – на результаты СИМ в целом. Аналогичным образом СВ5; СВ14 и СВ15 также сравнительно мало влияют на итоги моделирования – при прогонах СИМ-модели в допустимый интервал $\pm 20\%$ не входили 1-2 значения СВ и переменных. Напротив, изменение закона распределения СВ13 (длительность перевозки результата запроса) существенно повлияло на значения 15 СВ и переменных – поэтому в данном случае можно говорить о значительном влиянии СВ13 на результаты СИМ.

Таблица 17. Число СВ, не вошедших в допустимый интервал, при изменении закона распределения фиксированной СВ на равномерный

CB_n	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15
N_{CB}	4	3	4	0	1	4	4	7	9	4	8	7	15	2	1

Таблица 18. Число прогонов, в которых значения СВ не входили в допустимый интервал $\pm 20\%$

CB_n	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CB7	CB8	CB9	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB23
N_{CB}	0	10	10	10	0	3	6	1	1	3	10	4	5	0	0	0

Таблица 19. Итоговые результаты исследования тестовой СИМ-модели

	kpost	kokaz	kotk	kzapogv	knelzap	kvelzap	kzapkur
Эталон	2829	2574	25	271	19	177	94
\mathcal{E}_{min}	2263	2059	20	216	15	142	75
\mathcal{E}_{max}	3395	3089	30	325	23	212	113
Все по P3 (№1)	2698	2270	28	224	29	127	97
CB1 по P3 (№2)	2447	2181	21	250	21	143	108
CB2 по P3 (№3)	2822	2579	25	266	19	175	91
CB3 по P3 (№4)	2710	2487	23	250	15	165	87
CB4 по P3 (№5)	2829	2574	25	271	19	177	94
CB5 по P3 (№6)	2829	2561	30	266	20	178	88
CB6 по P3 (№7)	2843	2568	34	239	20	144	95
CB7 по P3 (№8)	2794	2531	23	210	16	122	88
CB8 по P3 (№9)	2822	2549	26	226	15	134	93
CB9 по P3 (№10)	2754	2486	30	206	9	129	77
CB10 по P3 (№11)	2804	2563	30	258	22	155	103
CB11 по P3 (№12)	2908	2604	26	229	12	143	86
CB12 по P3 (№13)	2858	2547	29	243	16	139	104
CB13 по P3 (№14)	2920	2617	28	197	12	127	74
CB14 по P3 (№15)	2858	2570	25	269	20	164	105
CB15 по P3 (№16)	2808	2590	29	232	20	143	92

Подверженность СВ влиянию исходных данных. В таблице 18 представлены значения числа прогонов N_{CB} , в которых отклонения от эталона СВ с номером n : СВ n не входили в допустимый интервал $\pm 20\%$. Видно, что во всех 16 прогонах такими СВ были СВ1, СВ5, СВ14, СВ15, СВ23. Поэтому можно считать, что указанные СВ в наименьшей степени подвержены влиянию исходных данных для проведения СИМ. К ним близки СВ8 и СВ9, отклонения которых не вошли в

допустимый интервал лишь в одном прогоне. Напротив, отклонения СВ2, СВ3, СВ4 и СВ11 не вошли в допустимый интервал в 10 прогонах из 16, поэтому можно сделать вывод о том, что эти СВ в наибольшей степени подвержены влиянию исходных данных для проведения СИМ.

Итоговые результаты СИМ. В таблице 19 сведены итоговые результаты исследования СИМ-модели, полученные при изменении законов распределения конкретных СВ.

В экспериментах №2, №3, №5, №6, №11, №15, №16 все 7 переменных вошли в допустимый интервал отклонения в 20%.

Заключение

Изменение закона распределения случайных величин СВ1 «Длительность приема документов», СВ2 «Время ожидания недостающих документов», СВ4 «Длительность анализа КД регистратором», СВ5 «Длительность анализа поступившего дела», СВ10 «Длительность анализа КД в ОГВ», СВ14 «Время ожидания заявителя», СВ15 «Время выдачи результата услуги заявителю» не влияет на итоговые значения СИМ-модели и в меньшей степени влияет на значения других СВ, поэтому можно считать, что данные СВ обусловлены второстепенными статистическими факторами.

Литература

1. Ваулина К.В., Маслов О.Н. Влияние неопределенности исходных данных на эффективность статистического имитационного моделирования нерелефторной системы. Часть 1. Те-

стовая СИМ-модель // ИКТ. Т.14, №3, 2016. – С. 132-139. doi: 10.18469/ikt.2016.14.4.07

2. Димов Э.М., Маслов О.Н., Пчеляков С.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Часть 2. Имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. – 350 с.
3. Ануфриев Д.П., Димов Э.М., Маслов О.Н. и др. Статистическое имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в социально-экономических системах. Астрахань: Изд-во АстИСИ, 2015. – 366 с.
4. Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Снижение неопределенности выбора управленческих решений с помощью метода статистического имитационного моделирования // Информационные технологии. №6, 2014. – С. 51-57.

Получено 10.02.2017

Ваулина Кристина Владимировна, магистрант Кафедры экономических и информационных систем (ЭИС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-36, 8-927-016-98-11.

Маслов Олег Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ЭИС ПГУТИ. Тел. 8-902-371-06-24. E-mail: maslov@psati.ru

INITIAL DATA UNCERTAINTY INFLUENCE ON EFFECTIVENESS OF NON-REFLECTIVE SYSTEM STATISTICAL SIMULATION. PART 2. DIFFERENTIATION OF STOCHASTIC FACTORS BASED ON THE EFFECTIVENESS OF SIM-MODEL APPLICATION

Vaulina K.V., Maslov O.N.

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation
E-mail: maslov@psati.ru*

In this article considers the problem of analysis of the effect of initial data uncertainties on the results of the statistical simulation. The object of study is a complex hierarchical non-reflexive system. The uncertainty of the initial data is taken into account in the formation of random numerical values, modeling the stochastic factors that affect the process of the functioning (working) non-reflexive hierarchical system. In the first part of the article presents the SSM-model of the business process «Provision of state and municipal services» Multifunctional Center (MFC) in Tyumen region. Model has been chosen as a test object for further research. In the second part of the article presents the results of experiments on the example of the selected test model and the analysis of the obtained values. In addition, there have been made findings on the impact of the uncertainty of initial data on the effectiveness of the SIM.

Keywords: non-reflexive system, statistical simulation, Dimov-Maslov method, the uncertainty of the initial data, test model

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.1.08

Maslov Oleg Nikolayevich, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; the Head of Department of Economic Information Systems, Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +79023710624. E-mail: maslov@psati.ru

Vaulina Kristina Vladimirovna, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; student. Tel.: +78462280036, +79270169811.

References

1. Vaulina K.V., Maslov O.N. Vliyanie neopredelennosti ishodnykh dannykh na e'ffektivnost' statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya nereflektornoj sistemy. Chast' 1. Testovaya SIM-model' [Initial data uncertainty influence on effectiveness of non-reflective system statistical simulation. Part 1. Test statistical simulation model]. *Informacionnye tekhnologii*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 132-139. doi: 10.18469/ikt.2016.14.4.07
2. Dimov E.M., Maslov O.N., Pcheljakov S.N., Skvorcov A.B. *Novye informacionnye tehnologii: podgotovka kadrov i obuchenie personala. Ch. 2. Imitacionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v infokommunikacijah* [New information technologies: personnel training. P.2. Simulation modelling and management of business processes in infocommunications]. Samara, SNC RAN Publ., 2008, 350 p.
3. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. *Statisticheskoe imitacionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v social'no-jekonomicheskikh sistemah* [Statistical simulation modeling and business process management in the socio-economic systems]. Astrahan, AstISI Publ., 2015. 366 p.
4. Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. Snizhenie neopredelennosti vybora upravlencheskikh peshenij s pomoshh'ju metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya [Reducing Uncertainty in a Choice of Management Desicions Using Statistical Simulation]. *Informacionnye tekhnologii*, 2014, no. 6, pp. 51-57.

Received 10.02.2017

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 621.396

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ДИСТАНЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Горячкин О.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ.

E-mail: oleg.goryachkin@gmail.com

Рассмотрены практические технологии получения радиолокационных изображений, в зависимости от вариантов базирования аппаратуры радиолокационных систем землеобзора: авиационные и космические моностабильные; комбинированные с наземными системами мультистабильные авиационные и космические; мобильные и наземные. Показаны перспективы применения мобильных радиолокационных (МРЛК) систем в целях подповерхностного зондирования с борта летательных аппаратов, многочастотного зондирования, наблюдения замаскированных или укрытых целей. Приводятся основные сравнительные характеристики авиационных радиолокаторов с синтезированной апертурой УКВ диапазона и МРЛК.

Ключевые слова: радиолокация, радиолокация с синтезированной апертурой, радиолокационное изображение, радиолокационные системы, дистанционное зондирование Земли, трубопровод, кабель, локация

Введение

В связи с бурным развитием технологий радиолокационного дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) намечается существенный прогресс в решении ряда актуальных прикладных задач, к которым можно отнести проблемы природно-ресурсного и геологического мониторинга, создания природно-ресурсных кадастров, поиска

полезных ископаемых, дистанционного картографирования и мониторинга протяженных объектов естественного и искусственного происхождения. В частности, можно упомянуть контроль состояния газо-, нефте- и продуктопроводов, воздушных и подземных электросетей, сетей телекоммуникаций, а также поиск трасс и составлении схем подземных коммуникаций.