

ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ

ТИМОХИН В. Н., ПОДСКРЕБКО А. С.

УДК 338.3

Тимохин В. Н., Подскребко А. С. Дискретно-событийное моделирование конвейерных линий

Целью статьи является исследование особенностей применения дискретно-событийного моделирования в процессе принятия управленческих решений, связанных с переконфигурированием конвейерной линии крупного промышленного предприятия. Анализируя и систематизируя научные работы отечественных и зарубежных ученых, авторы акцентируют внимание на недостаточности разработки вопросов, связанных с применением имитационного моделирования к переконфигурировке конвейерных линий. В статье рассмотрены аспекты дискретно-событийного моделирования в процессе принятия управленческих решений, связанных с определением узких мест системы, используя методологию теории ограничений и анализа возможности их устранения, то есть повышения эффективности функционирования системы. Приводится дискретно-событийная модель процесса сборки компрессора. Представленная модель позволяет выявить узкие места в системе, а также проанализировать различные возможности их устранения.

Ключевые слова: система операционного менеджмента, имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование, теория ограничений, кайдзен, принятие управленческих решений, управление изменениями.

Рис.: 5. **Табл.:** 2. **Библ.:** 11.

Тимохин Владимир Николаевич – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой моделирования экономики, Донецкий национальный университет (ул. Университетская, 24, Донецк, 83001, Украина)

E-mail: volodya.timokhin@gmail.com

Подскребко Александр Сергеевич – аспирант, Донецкий национальный университет (ул. Университетская, 24, Донецк, 83001, Украина)

E-mail: alexandr.donnu@mail.ru

УДК 338.3

UDC 338.3

Тимохин В. М., Подскребко О. С. Дискретно-подієве моделювання конвеєрних ліній

Метою статті є дослідження особливостей застосування дискретно-подієвого моделювання в процесі прийняття управлінських рішень, пов'язаних із переконфигурируванням конвеєрної лінії великого промислового підприємства. Аналізуючи і систематизуючи наукові роботи вітчизняних і зарубіжних вчених, автори акцентують увагу на недостатності розробки питань, пов'язаних із застосуванням імітаційного моделювання до переконфигурирування конвеєрних ліній. У статті розглянуто аспекти дискретно-подієвого моделювання в процесі прийняття управлінських рішень, пов'язаних із визначенням вузьких місць системи, використовуючи методологію теорії обмежень і аналізу можливості їх усунення, тобто підвищення ефективності функціонування системи. Наводиться дискретно-подієва модель процесу зборки компресора. Надана модель дозволяє виявити вузькі місця в системі, а також проаналізувати різні можливості їх усунення.

Ключові слова: система операційного менеджменту, імітаційне моделювання, дискретно-подієве моделювання, теорія обмежень, кайдзен, прийняття управлінських рішень, управління змінами.

Рис.: 5. **Табл.:** 2. **Бібл.:** 11.

Тимохин Владимир Николаевич – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри моделювання економіки, Донецький національний університет (вул. Університетська, 24, Донецьк, 83001, Україна)

E-mail: volodya.timokhin@gmail.com

Подскребко Александр Сергійович – аспірант, Донецький національний університет (вул. Університетська, 24, Донецьк, 83001, Україна)

E-mail: alexandr.donnu@mail.ru

Tymohyn V. M., Podskrebko O. S. Discrete-Event Modelling of Conveyor Lines

The goal of the article is a study of specific features of application of discrete-event modelling in the process of making managerial decisions connected with re-trimming of a conveyor line of a major industrial enterprise. Analysing and systemising scientific works of domestic and foreign scientists, the author focuses on insufficiency of development of issues connected with application of simulation modelling to re-trimming of conveyor lines. The article considers aspects of discrete-event modelling in the process of making managerial decisions connected with identification of bottle-necks of the system using methodology of the limitations theory and analysis of possibilities of their elimination, i.e. increase of effectiveness of system functioning. The author provides a discrete-event model of the process of compressor assembly. The provided model allows detection of bottle-necks in the system and also analysis of various possibilities of their elimination.

Key words: system of operation management, simulation modelling, discrete-event modelling, limitations theory, kaizen, making managerial decisions, management of changes.

Pic.: 5. **Tabl.:** 2. **Bibl.:** 11.

Tymohyn Volodymyr M. – Doctor of Science (Economics), Professor, Head of the Department of Economics modeling, Donetsk National University (vul. Universytetska, 24, Donetsk, 83001, Ukraine)

E-mail: volodya.timokhin@gmail.com

Podskrebko Oleksandr S. – Postgraduate Student, Donetsk National University (vul. Universytetska, 24, Donetsk, 83001, Ukraine)

E-mail: alexandr.donnu@mail.ru

Современные условия хозяйствования, характеризующиеся давлением со стороны конкурентов, высокой степенью неопределенности и рисков, приводят к необходимости поиска малозатратных способов повышения эффективности функционирования экономических объектов. Достаточно важным является подбор оптимального инструмента, который позволил бы минимизировать риски и области его приложения. Существует достаточно обширный инструментарий, позволяющий влиять на эффективность функционирования. Наиболее популярными являются реинжиниринг, аутсорсинг, кайдзен, теория ограничений и т. д. В качестве области приложения часто выбирают оказывающие решающее влияние на конечный результат, составляющие системы операционного менеджмента, в частности конвейерные линии.

В условиях возрастающей конкуренции и динамики изменений важным аспектом выступает принятие качественных, малобюджетных управленческих решений. В подавляющем большинстве случаев руководство предприятий под тяжестью ответственности, недостаточного количества информации медлит с принятием необходимых управленческих воздействий. Нередко подобное промедление приводит к снижению эффекта от их внедрения, а иногда недостаточно взвешенные решения приводят к негативным последствиям, на устранение которых требуется дополнительные как временные, так и финансовые ресурсы. Своевременный анализ и оценка планируемых изменений позволит избежать подобных проблем, повысить качество и оперативность принимаемых управленческих решений. Одним из мощнейших современных инструментов анализа является имитационное моделирование, предоставляющее возможность оценить эффективность внедряемых изменений, в том числе связанных с перебалансировкой конвейерной линии.

Исследованию проблемы применения имитационного моделирования в процессе принятия управленческих решений посвящены работы отечественных и зарубежных ученых: Д. Ю. Каталевского [5], В. В. Меженской, А. С. Подскребко [6], А. Н. Стерлиговой [8], В. Н. Тимохина [9], Дж. Д. Стермана [11] и др. В этих работах на достаточно высоком уровне рассмотрены вопросы, связанные с использованием имитационного моделирования в управлении. Однако, несмотря на значительный объем публикаций по данной тематике, многие вопросы, в частности, связанные с перебалансировкой конвейерной линии, остаются недостаточно разработанными. Отмеченное предопределяет актуальность, цель и задачи данного исследования.

Целью данной статьи является рассмотрение аспектов использования имитационного моделирования в процессе принятия управленческих решений, связанных с перебалансировкой конвейерной линии.

Имитационное моделирование – один из видов компьютерного моделирования, использующий методологии системного анализа, дискретно-событийного, агентного моделирования, центральной процедурой которых является построение обобщенной модели, отражающей все факторы реальной системы, в качестве же

методологии исследования выступает вычислительный эксперимент [9]. Целью моделирования является анализ системы необходимый для принятия качественных, оперативных управленческих решений. В связи с усложнением внешней среды, давлением со стороны конкурентов имитационное моделирование стало основным инструментом оценки и проверки на адекватность управленческих решений.

Предложенная дискретно-событийная модель процесса сборки компрессора (рис. 1), построенная с помощью ППП Arena, позволяет выявить узкие места системы и оценить меры по их устранению.

Представленная модель построена на следующих начальных данных.

ТАСТ – время, необходимое для производства одного изделия с целью удовлетворения спроса потребителя.

Время производства:

Смена = 12 часов

–2 × 30 мин (перерывы)

= 11 часов

= 660 минут

Смена = 39600 секунд

План = 2100 компрессоров в смену

ТАСТ = $\frac{39600}{2100} = 18.9$ секунд

Таблица 1

Описание процесса «Сборка компрессора»

№	Перечень операций	Перечень операций в модели	Среднее время	Лучшее время	Худшее время	Количество операторов
1	2	3	4	5	6	7
1	Демонтаж деталей	Unload Parts	15,5	12,6	21	1
2	Узел 1	Unit1	17	9	31	4
3	Узел 2	Unit2	12,5	9	16	1
4	Тест биения ротора	Inspection	15,5	11	27	1
5	Узел 3	Unit3	14,3	10	19	6
6	Контроль вылета поршня	Inspect piston	13,5	10	20	2
7	Подсборка клапана	valve sub assembly	16,4	16,4	16,4	2
8	Установка клапана	fitting valve	13,3	11	18	3
9	Подсборка кожуха	casket inserts	18,5	15,3	22,3	1

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
10	Подсборка кожуха	casket springs	19,9	15,5	23,5	1
11	Подсборка кожуха	casket starter	12,9	10	16	1
12	Пайка стыка	soldering	11,1	7	20	1
13	Контр. сопротивления	Inspection	15,6	8	34	1
14	Установка демпфера	damper	13,5	10	16	1
15	Параметрический контроль	insp(oil)	15,2	14	18	1
16	Доводочный контроль	insp(final)	18,1	12	27	1
17	Установка крышки	lid fit	16,4	10	25	1
18	Испытание	Electric test	22,4	20	24	1
Sub total			281,6	210,8	394,2	30
Average			15,6	11,7	21,9	

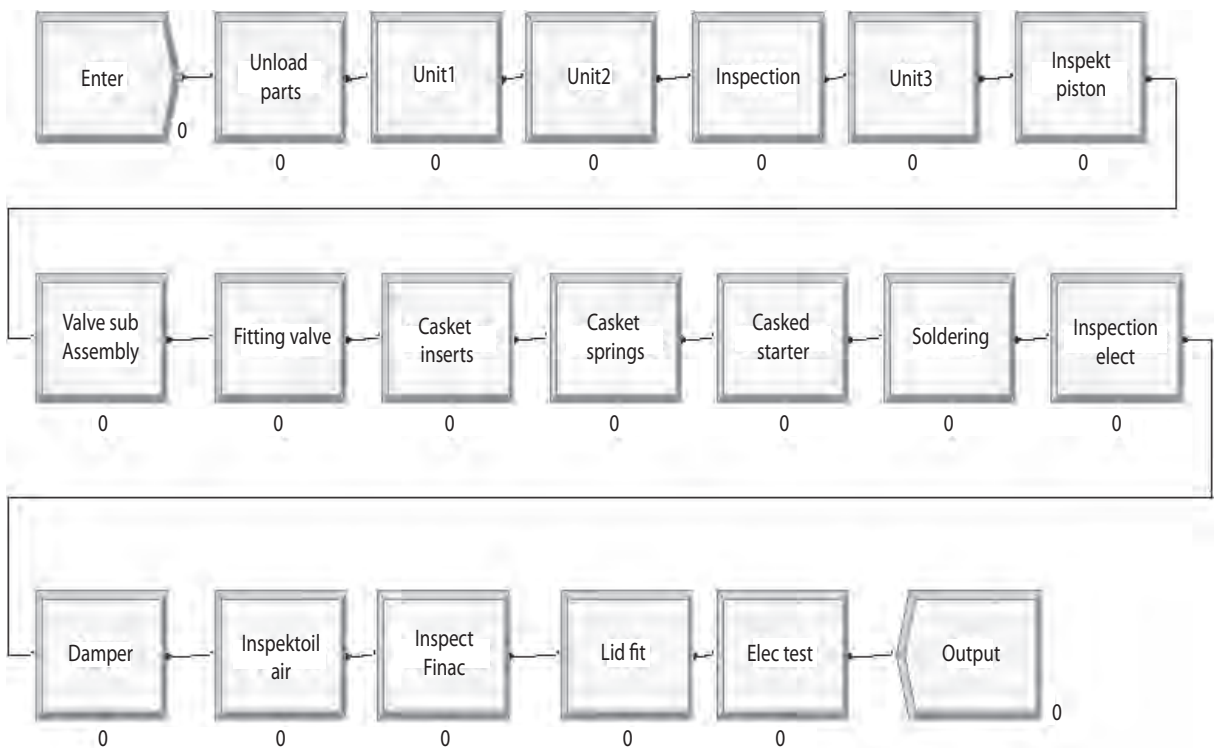


Рис. 1. Имитационная модель сборки компрессора

Имитационный эксперимент проведен в 6 этапов, так как студенческая лицензия (Student mode) не позволяет моделировать высокочастотные конвейерные линии. Алгоритм процесса сбора данных на основе проведенного исследования представлен на рис. 2 – 4.

По истечению 01:11:02 модельного эксперимента можно отметить возникновение очереди размером бо-

лее одной единицы незавершенного производства, на таких операциях как Unit1 – 4 единицы, Unit3 – 2 единицы, Inspekt piston – 2 единицы, Inspection elect – 2 единицы, Inspekt Finac – 3 единицы, Elec test – 2 единицы незавершенного производства. Дальнейший анализ результатов имитационного эксперимента направлен на выявление тенденции образования очередей в операциях.

По истечению 05:05:49 модельного эксперимента проанализируем результат и отметим возникшие очереди в более чем единицу незавершенного производства. Unit1 – 5 единиц незавершенного производства, Fitting valve – 2 единиц, Casket springs – 2 единиц, Inspekt oil air – 2 единиц, Inspekt Finac – 2 единиц.

Проанализируем образование очередей в более чем одну единицу незавершенного производства. Unit1 – 4 единицы, Inspektion – 2 единицы, Inspekt piston – 2 единицы, Casket inserts – 2 единицы, Elec test – 2 единицы.

Результат имитационного исследования представлен в табл. 2.

Следовательно, только три операции представляют наибольший интерес, а именно:

Unit1 – общее количество незавершенного производства, накопившегося на протяжении шести этапов – 26;

Unit2 – общее количество незавершенного производства, накопившегося на протяжении трех этапов – 6;

Elec test – общее количество незавершенного производства, накопившегося на протяжении четырех этапов – 9.

Основным утверждением ТОС является то, что все системы имеют ограничения. Именно ограничение системы является ее слабым звеном, оно задает ритм работы, определяет пропускную способность. Имитационная модель даст возможность найти слабое звено в описываемой системе и пересбалансировать конвейерную линию таким образом, чтобы повысить эффективность ее функционирования.

01:11:02

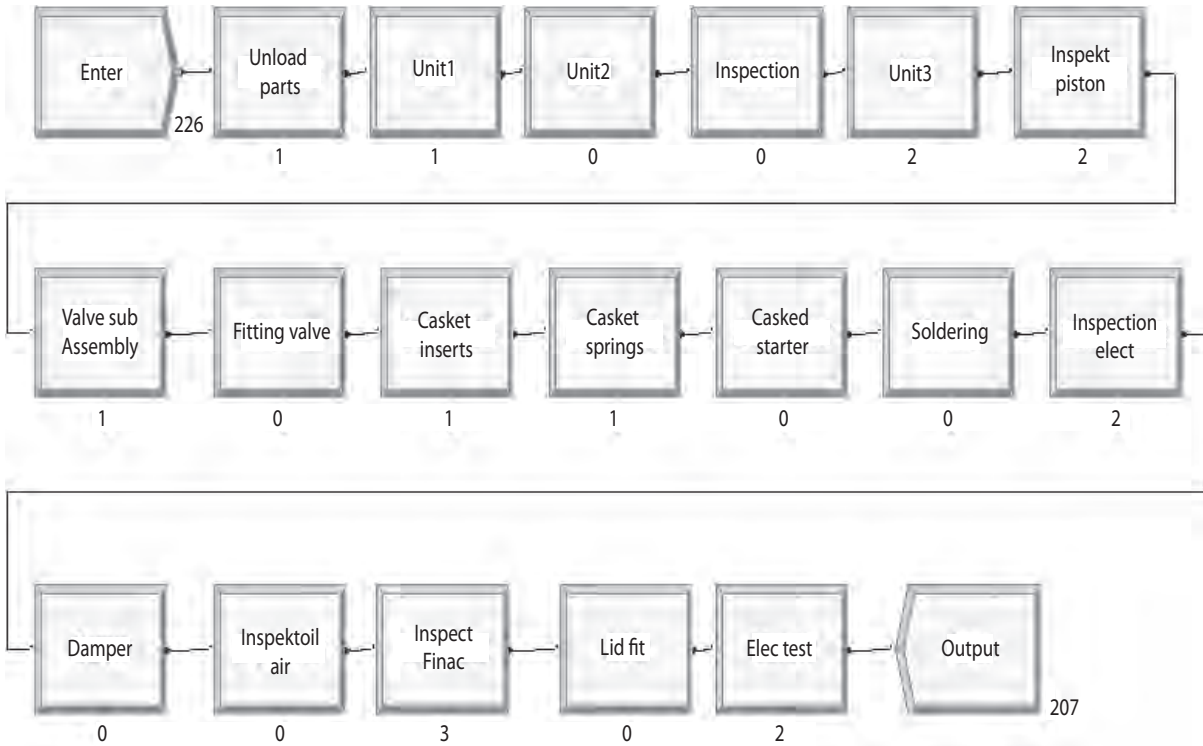


Рис. 2. Первый этап имитационного эксперимента, модельное время 1 час 11 минут

05:05:49

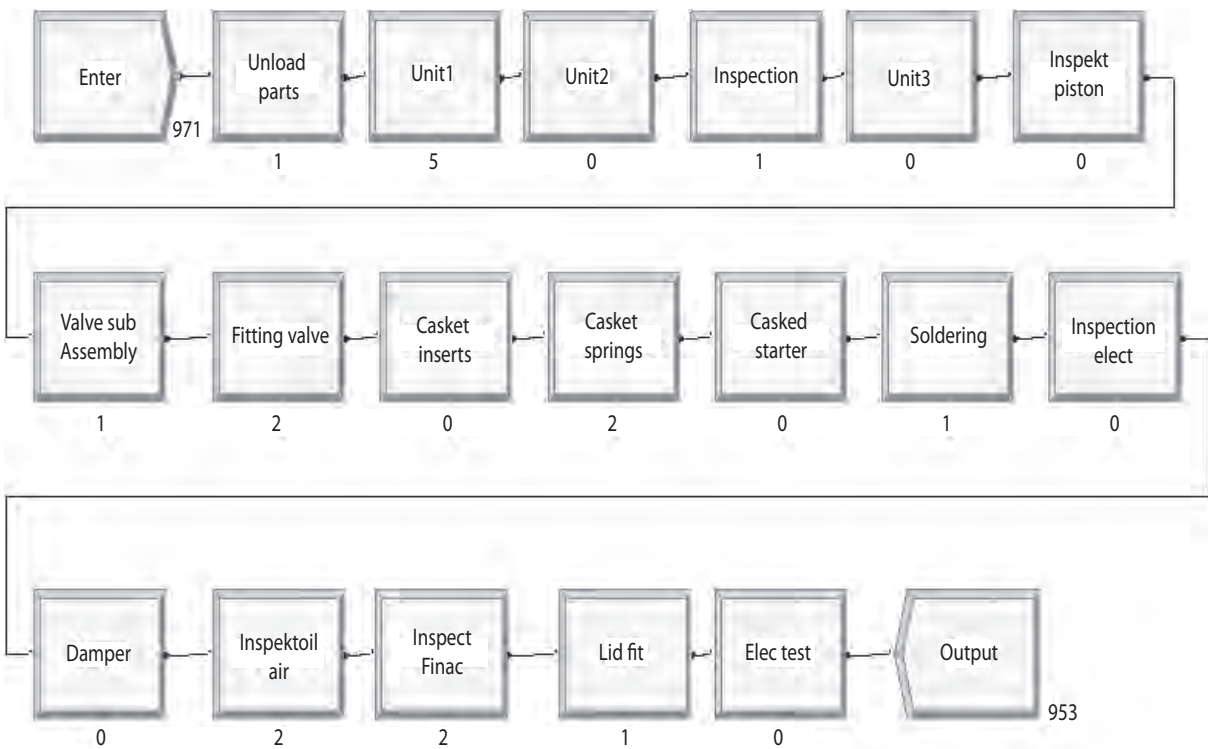


Рис. 3. Третий этап имитационного эксперимента, модельное время 5 часов 5 минут

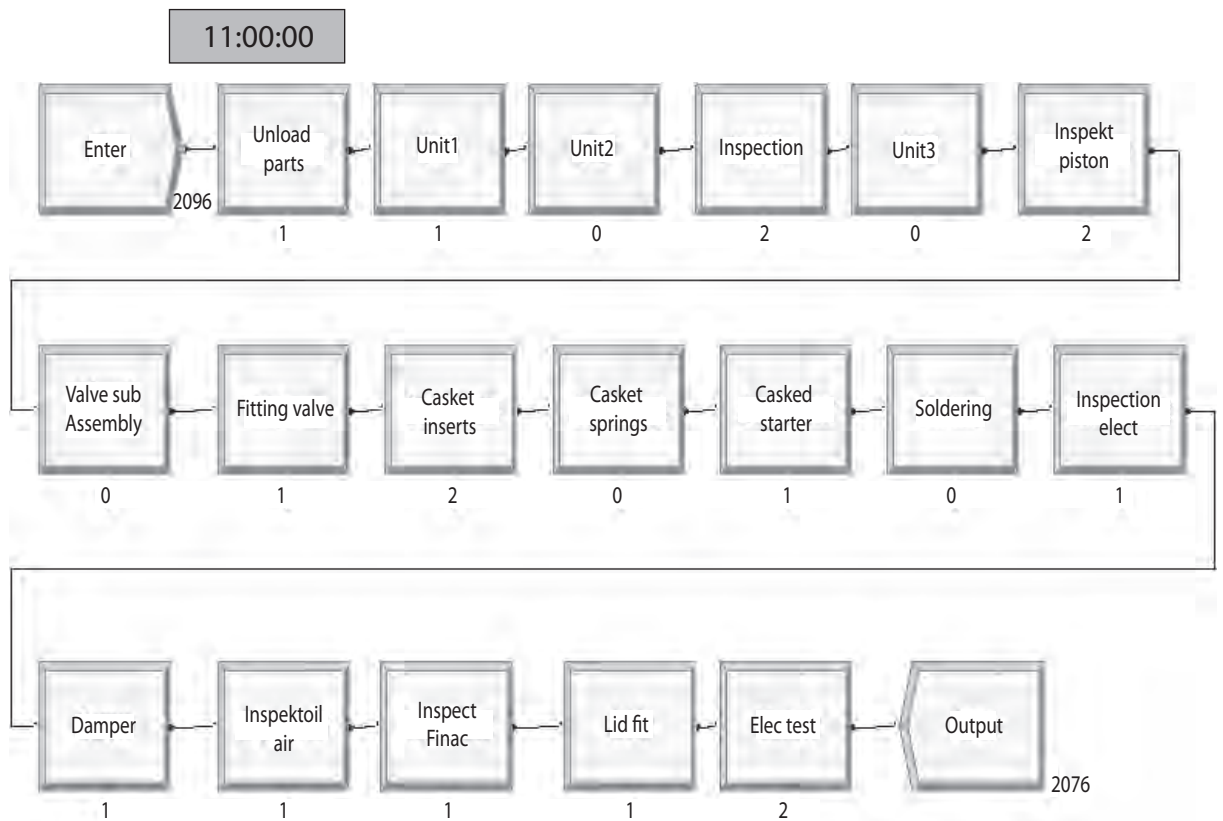


Рис. 4. Шестой этап имитационного эксперимента, модельное время – 11 минут

Таблица 2

Количество незавершенного производства на разных этапах исследования

Название операции	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5	Этап 6	Сумма	Кол-во этапов
Unit1	4	4	5	4	5	4	26	6
Inspektion	0	0	0	0	0	2	2	1
Unit3	2	2	0	2	0	0	6	3
Inspekt piston	2	0	0	0	0	2	4	2
Valve sub Assembly	0	2	0	0	2	0	4	2
Fitting valve	0	0	2	2	0	0	4	2
Casket inserts	0	0	0	0	0	2	2	1
Casket springs	0	0	2	0	0	0	2	1
Casket starter	0	0	0	0	3	0	3	1
soldering	0	2	0	0	0	0	2	1
Inspection elect	2	0	0	2	0	0	4	2
Inspect oil air	0	0	2	2	0	0	4	2
Inspect Finac	3	0	2	0	0	0	5	2
Lid fit	0	2	0	0	0	0	2	2
Elec test	2	2	0	0	3	2	9	4

Добавим дополнительного работника для выполнения операции Unit1 и проведем новое исследование, направленное на выявление большого количества незавершенного производства (более двух единиц) и оценку данного мероприятия. Проанализируем работу системы в разные моменты времени. Результат последнего этапа имитационного исследования представлен на рис. 5.

Таким образом, в ходе проведенного модельного эксперимента не было выявлено образования большого количества незавершенного производства. Перебалансировка конвейерной линии позволила увеличить количество производимых компрессоров на 5 единиц в смену за счет добавления в систему всего одного дополнительного оператора. Дальнейшее повышение эффективности

11:00:00

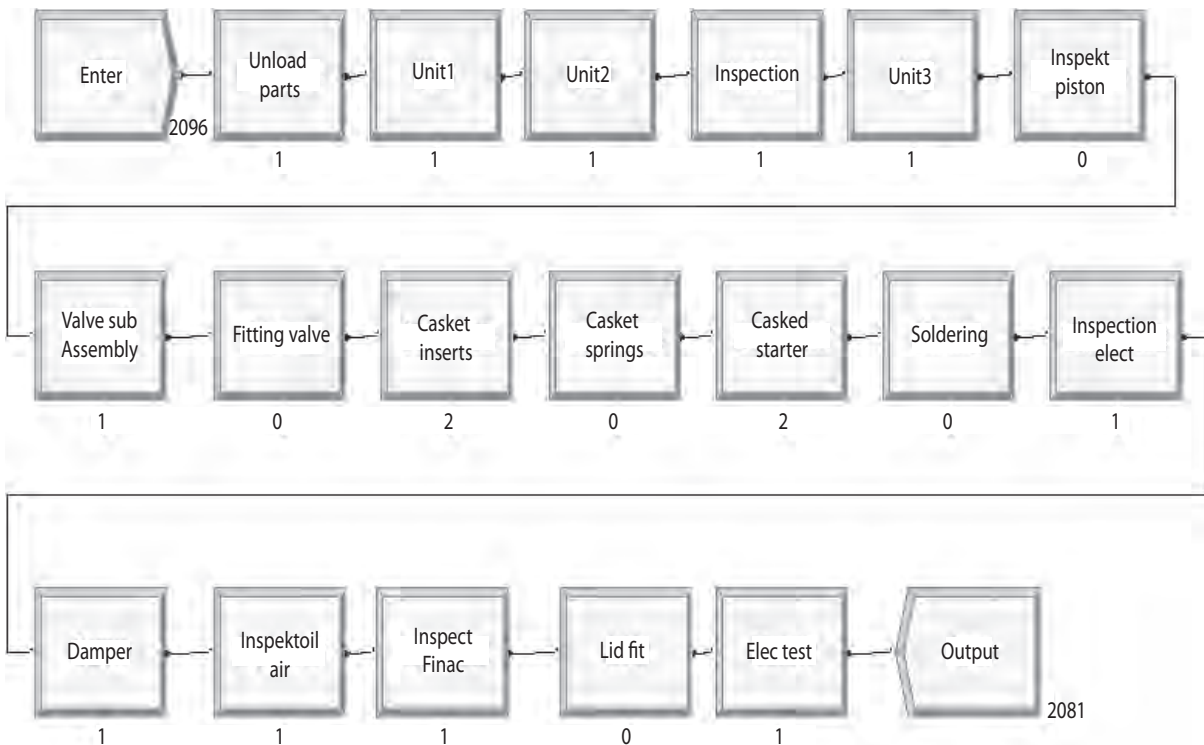


Рис. 5. Результат последнего этапа имитационного эксперимента

процесса сборки компрессора целесообразно проводить, используя инструменты непрерывного совершенствования, то есть так называемые кайдзен-инструменты, например бережливое производство. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. **Андерсен Б.** Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования / Бьерн Андерсен / Пер. с англ. С. В. Ариничева. – Изд. 3-е. – М.: Стандарты и качество, 2005. – 271 с.
2. **Грин М.** Управление изменениями: Модели, инструменты и технологии организационных изменений / М. Грин, Э. Кемерон – М.: Добрая книга, 2006. – 360 с.
3. **Детмер У.** Теория ограничений Голдратта / У. Детмер. – Москва: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 448 с.
4. Имитационное моделирование экономических систем: учеб. пособ. / Ю. Г. Лысенко, Г. С. Овечко, А. В. Овечко и др.; под ред. Ю. Г. Лысенко; Донецкий нац. ун-т, каф. эконом. кибернетики. – Донецк: Юго-Восток, 2007. – 286 с.
5. **Каталевский Д. Ю.** Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие / Д. Ю. Каталевский. – М.: Издательство Московского университета, 2011. – 304 с., ил.
6. **Меженская В. В.** Имитационное моделирование как инструмент принятия управленческих решений, связанных с переконфигурированием конвейерной линии / В. В. Меженская, А. С. Подскребко // Модели управления в рыночной экономике: Сб. науч. тр.; общ. ред. и предисл. Ю. Г. Лысенко; Донецкий нац. ун-т. – Донецк: ДонНУ, 2009. – Спец. выпуск. – С. 260 – 268.
7. Методология моделирования жизнеспособных систем в экономике: монография / Ю. Г. Лысенко, В. Н. Тимохин,

Р. А. Руденский и др. – Донецк: Юго-Восток, 2009. – 350 с. – (Сер.: Жизнеспособные системы в экономике).

8. **Стерлигова А. Н.** Операционный (производственный) менеджмент: учеб. пособие / А. Н. Стерлигова, А. В. Фель. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 187 с.

9. **Тимохин В. Н.** Методология моделирования экономической динамики: Монография / В. Н. Тимохин. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2007. – 269 с.

10. **Широкова Г. В.** Управление организационными изменениями: учеб. пособие / Г. В. Широкова; С.-Петербург. гос. ун-т, ф-т менеджмента. – СПб.: С.-Петербург. гос. ун-т, 2005. – 431 с.

11. **Sterman J. D.** Business Dynamics. System thinking and modeling for a Complex World [Электронный ресурс] / J. D. Sterman. – Irwin: McGraw-Hill, 2000. – Режим доступа: <http://www.mhhe.com/business/opsci/sterman/>

REFERENCES

Andersen, B. *Biznes-protsessy. Instrumenty sovershenstvovaniia* [Business processes. Tools to improve]. Moscow: Standarty i kachestvo, 2005.

Detmer, U. *Teoriia ogranicheniy Goldratta* [Goldratt's Theory of Constraints]. Moskva: Alpina Biznes Buks, 2007.

Grin, M., and Kameron, E. *Upravlenie izmeneniiami: Modeli, instrumenty i tekhnologii organizatsionnykh izmeneniy* [Change Management: Models, tools and techniques of organizational change]. Moscow: Dobraia kniga, 2006.

Katalevskiy, D. Yu. *Osnovy imitatsionnogo modelirovaniia i sistemnogo analiza v upravlenii* [Fundamentals of simulation modeling and systems analysis in management]. Moscow: Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, 2011.

Lysenko, Yu. G., Ovechko, G. S., and Ovechko, A. V. *Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh sistem* [Simulation modeling of economic systems]. Donetsk: Yugo-Vostok, 2007.

Lysenko, Yu. G., Timokhin, V. N., and Rudenskiy, R. A. *Metodologiya modelirovaniia zhiznesposobnykh sistem v ekonomike* [Modeling methodology of viable systems in the economy]. Donetsk: Yugo-Vostok, 2009.

Mezhenskaia, V. V., and Podskrebko, A. S. "Imitatsionnoe modelirovanie kak instrument priniatia upravlencheskikh resheniy, svyazannykh s perebalansirovkoj konveyernoy linii" [Simulation modeling as a tool for decision-making related to the rebalancing of the conveyor line]. In *Modeli upravleniia v rynochnoy ekonomike*, 260-268. Donetsk: DonNU, 2009.

Sterligova, A. N., and Fel, A. V. *Operatsionnyy (proizvodstvennyy) menedzhment* [Operating (production) management]. Moscow: INFRA-M, 2009.

Shirokova, G. V. *Upravlenie organizatsionnymi izmeneniyami* [Organizational change management]. St. Petersburg: SPbGU, 2005.

Sterman, J. D. "Business Dynamics. System thinking and modeling for a Complex World". <http://www.mhhe.com/business/opsci/sterman/>

Timokhin, V. N. *Metodologiya modelirovaniia ekonomicheskoy dinamiki* [Modeling methodology of economic dynamics]. Donetsk: Yugo-Vostok Ltd, 2007.

УДК 330.4:519.86:519.876.5

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ ПЕНСІЙНОГО СОЦІУМУ

ЯКИМОВА Л. П.

УДК 330.4:519.86:519.876.5

Якимова Л. П. Моделювання просторово-часової динаміки пенсійного соціуму

У статті запропоновано та досліджено клітинно-автоматну мультиагентну імітаційну модель динаміки процесу поширення недержавного пенсійного забезпечення (НПЗ), що дозволяє імітувати та візуалізувати просторово-часову динаміку пенсійного соціуму, відтворювати механізми міжсуб'єктної взаємодії у соціумі, диференційованому за соціально-психологічними та рольовими ознаками, з урахуванням синергетичного ефекту спільної дії агентів системи НПЗ і впливу ЗМІ на суб'єктів соціуму. Проведення серії імітаційних експериментів дозволило встановити залежності сценаріїв еволюції пенсійного соціуму від параметрів процесу поширення НПЗ: коефіцієнтів охоплення пенсійного соціуму професійними агентами та ЗМІ, кількості ефективних контактів, коефіцієнта зниження рівня недовіри населення до НПЗ, рівня сприйняття інформації агентів НПЗ і рівня їх впливу. В еволюції пенсійного соціуму виявлено регулярні аттрактори, моменти настання та характеристики яких залежать від параметрів процесу поширення НПЗ, деякі з цих параметрів є керованими.

Ключові слова: недержавне пенсійне забезпечення, пенсійний соціум, просторово-часова динаміка, імітаційна модель, клітинний автомат.

Рис.: 3. **Бібл.:** 9.

Якимова Лариса Петрівна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій, Донбаський державний технічний університет (пр. Леніна, 16, Алчевськ, 94204, Україна)

E-mail: l_p_yakimova@mail.ru

УДК 330.4:519.86:519.876.5

Якимова Л. П. Моделирование пространственно-временной динамики пенсионного социума

В статье предложена и исследована клеточно-автоматная мультиагентная имитационная модель динамики процесса распространения негосударственного пенсионного обеспечения (НПО), позволяющая имитировать и визуализировать пространственно-временную динамику пенсионного социума, воспроизводит механизмы межсубъектного взаимодействия в социуме, дифференцированном по социально-психологическим и ролевым признакам, с учетом синергетического эффекта совместного воздействия агентов системы НПО и влияния СМИ на субъектов социума. Проведение серии имитационных экспериментов позволило установить зависимости сценариев эволюции пенсионного социума от параметров процесса распространения НПО: коэффициентов охвата пенсионного социума профессиональными агентами и СМИ, количества эффективных контактов, коэффициента снижения уровня недоверия населения к НПО, уровня восприятия информации агентов НПО и уровня их влияния. В эволюции пенсионного социума выявлены регулярные аттракторы, моменты наступления и характеристики которых зависят от параметров процесса распространения НПО, отдельные из этих параметров являются управляемыми.

Ключевые слова: негосударственное пенсионное обеспечение, пенсионный социум, пространственно-временная динамика, имитационная модель, клеточный автомат.

Рис.: 3. **Библ.:** 9.

Якимова Лариса Петровна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономической кибернетики и информационных технологий, Донбасский государственный технический университет (пр. Ленина, 16, Алчевск, 94204, Украина)

E-mail: l_p_yakimova@mail.ru

UDC 330.4:519.86:519.876.5

Yakimova L. P. Modelling the Space-Time Dynamics of the Pension Social Medium

The article offers and studies a cellular automaton multi-agent imitation model of dynamics of the process of propagation of the non-state pension provision (NPP) that allows imitation and visualisation of the space-time dynamics of the pension social medium, reproduction of mechanisms of inter-subject interaction in the social medium differentiated by socio-psychological and role properties with consideration of a synergetic effect of joint impact of agents of the NPP system and influence of mass media on the subjects of the social medium. A series of imitation experiments allowed establishment of dependence of scenarios of evolution of the pension social medium on parameters of the process of propagation of NPP: ratios of coverage of the pension social medium by professional agents and mass media, number of effective contacts, ratio of reduction of the level of distrust of the population to NPP, level of perception of information of NPP agents and level of their influence. The article detects regular attractors in evolution of the pension social medium, the moments of appearance and characteristics of which depend on parameters of the process of propagation of NPP, some of these parameters are controlled.

Key words: non-state pension provision, pension social medium, space-time dynamics, imitation model, cellular automaton.

Pic.: 3. **Bibl.:** 9.

Yakymova Larysa P. – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics and Information Technologies, Donbas State Technical University (pr. Lenina, 16, Alchevsk, 94204, Ukraine)

E-mail: l_p_yakimova@mail.ru