

УДК 004.94(07)

doi:10.18720/SPBPU/2/id23-469

Карпов Валерий Иванович¹,

главный научный сотрудник, д-р техн. наук, профессор;

Ахмедова Хамида Гаджиалиевна²,

доцент кафедры ИБМ-6, канд. физ.-мат. наук, доцент

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

^{1,2} Россия, Москва, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, ¹ vikarp@mail.ru, ² h.ahmedova@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрен метод разработки имитационной модели технологической системы производства строительных изделий и его практическое применение. Разработанная модель представляет собой готовый инструментарий исследования технологических систем рассмотренного класса, реализованная в виде программного продукта на объектно-ориентированном языке программирования C++Builder 6.0, в настоящее время используется на предприятии ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ».

Ключевые слова: имитационная модель, особые события, алгоритм, структурно-функциональная модель, адекватность имитационной модели, имитационный эксперимент, случайные величины, нормальное распределение.

Valeriy I. Karpov¹,

Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor;

Khamida G. Akhmedova²,

Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS FOR THE PRODUCTION OF BUILDING PRODUCTS BY SIMULATION MODELING

^{1,2} Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia,
¹ vikarp@mail.ru, ² h.ahmedova@mail.ru

Abstract. The article discusses the method of developing a simulation model of a technological system for the production of construction products and its practical application. The developed model is a ready-made toolkit for the study of technological systems of the considered class, implemented in the form of a software product in the object-oriented programming language C++ Builder 6.0, currently used at the enterprise "EcostroiNII-PV" LLP.

Keywords: simulation model, special events, algorithm, structural and functional model, simulation model adequacy, simulation experiment, random variables, normal distribution.

В настоящей работе объектом исследования является технологическая система изготовления строительных изделий, использующих промышленные отходы. Несмотря на имеющиеся паспортные данные системы, в реальной ситуации никто не может сказать, сколько продуктов может производить конкретная технологическая система, и каково их качество, сколько времени это займет, какой объем сырья необходим, каков состав бетонной смеси, какова фактическая производительность технологической линии и эффективность производства. Зарубежные исследования и разработки в области моделирования растут с каждым годом, и этому вопросу посвящено множество конференций и симпозиумов [1]. Более того, любой даже незначительный проект и производственный объект, требующий реконструкции, обязательно должен иметь имитационную модель в составе документов [2]. В России и странах бывшего СНГ методы моделирования все еще не так развиты, как в западном мире, хотя в последние годы появились ряд публикаций, в которых рассматривались методы имитационного моделирования [3–5].

Разработка модели велась в соответствии с методологией, изложенной в [6]. Выполнены следующие этапы:

- 1) содержательное описание системы;
- 2) разработка структурно-функциональной модели;
- 3) выделение объектно-ориентированных активных блоков функциональной модели и составление списка событий системы;
- 4) разработка моделирующего алгоритма;
- 5) программирование и отладка программы;
- 6) проверка адекватности модели.

Исследуемая система включает набор оборудования (емкости, транспортеры, дозаторы), заданный набор технологических операций и рецептуру смеси, из которой формируются изделия заданной формы. Требуется создать имитационную модель, позволяющую в условиях неопределенности (заданной точности дозаторов) определить среднюю производительность системы и ее среднее квадратичное отклонение.

На рисунке 1 представлена структурно-функциональная модель имитационной модели.

На этом рисунке блоки Е0–Е6 — емкости для хранения ингредиентов, Б1–Б2 — емкости для хранения смеси ингредиентов, Тр1–Тр2 — транспортеры, Д0–Д2 — дозаторы ингредиентов. В емкостях Е0–Е4 ингредиенты: зола, базальтовый шлак, шлак металлический, шлак металлический, пластификатор. В емкости Е5–Е8: цемент, песок, щебень, вода. В соответствии с технологией, в начале подаются ингредиенты

из емкостей E0–E4, затем подаются ингредиенты из емкости E5–E8 и некоторое время перемешиваются в емкости Б1. Затем полученная смесь передается в емкость Б2 (формирующая матрица), которая находится на вибростоле, и после некоторого времени передается в виде готовой продукции.

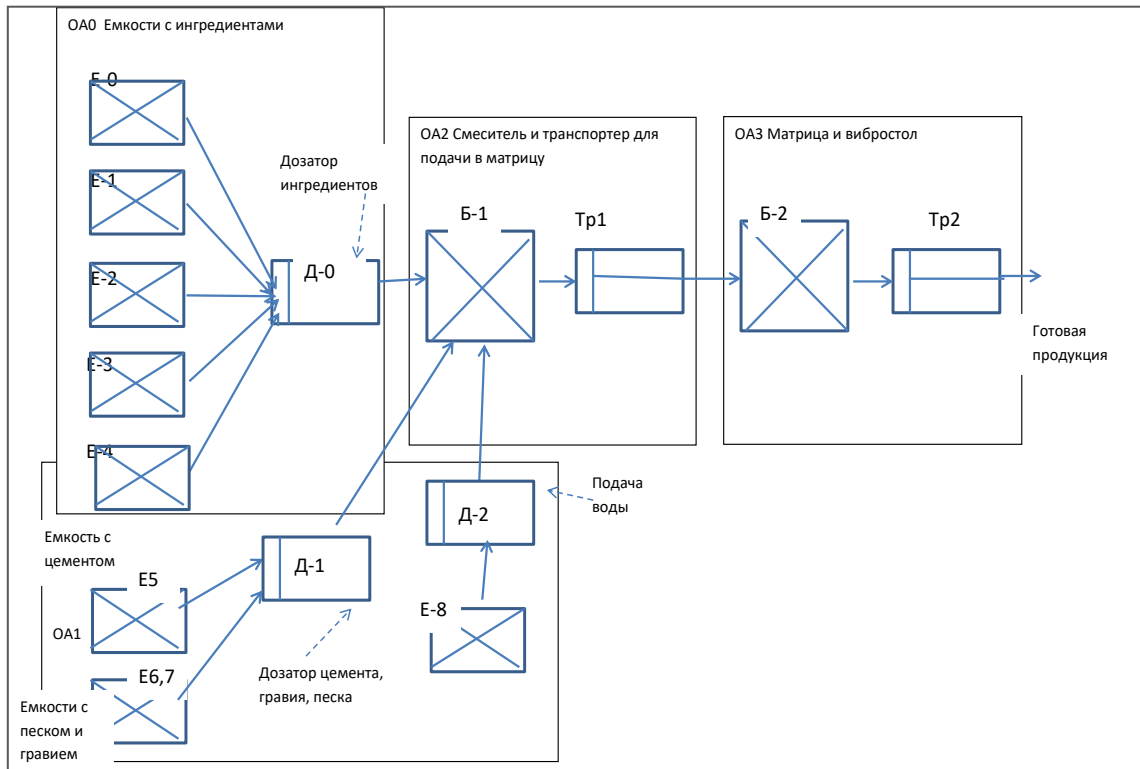


Рис. 1. Структурно-функциональная модель имитационной модели

В структурно-функциональной модели выделены четыре объектно-ориентированных блока:

- OA0-OA1 — блоки подачи ингредиентов;
- OA2 — блок обеспечивает формирование смеси и подачу ее в матрицу;
- OA3 — обеспечивает формирование смеси в матрице и подачу готовых изделий.

С выделенными блоками связаны события. Календарное время изменения состояния каждого блока записывается в массиве событий. Таким образом, в массиве событий MS[5] элементов: MS[0] — календарное время изменения состояния нулевого блока; MS[1] — первого блока; MS[1] — второго блока; MS[4] — четвертого блока; MS[5] — календарное время окончания интервала моделирования (задаваемый параметр).

Укрупненный моделирующий алгоритм представлен на рисунке 2.

На этом рисунке блок 2 формирует системное время T (модель настраивается на ближайшее событие), блок3 определяет номер этого

события — N_s . В зависимости от значения N_s , алгоритм разделяется на две ветки: одна ветка блоки 5, 6, другая — блоки 7, 8. 9. Блок 5 производит обработку события N_s , в соответствии с алгоритмом блока N_s функциональной модели.

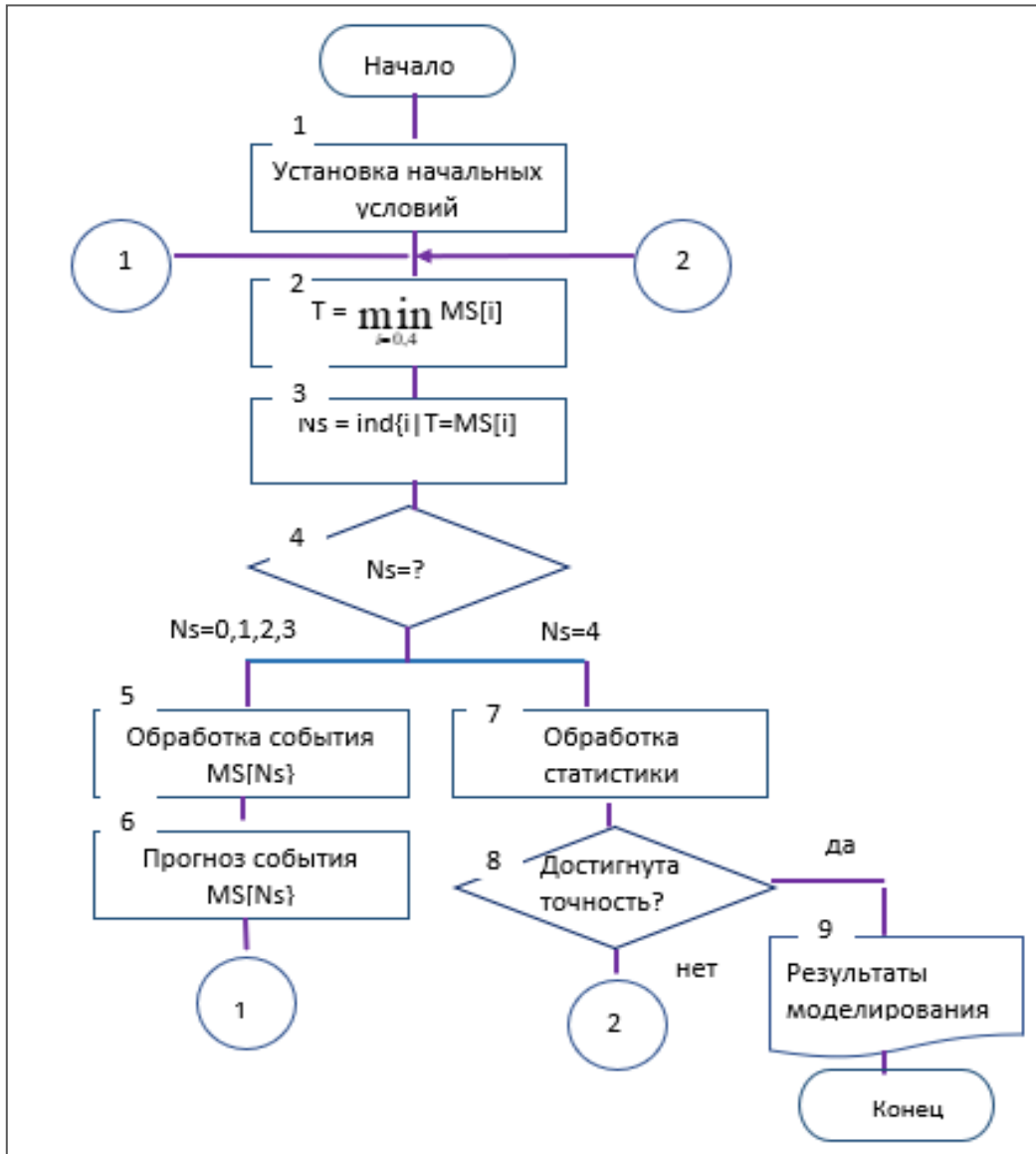


Рис. 2. Укрупненный алгоритм имитационного моделирования

При этом изменяется состояние блока N_s . Блок 6 алгоритма прогнозирует календарное время изменения состояния блока N_s функциональной модели. При этом важно отметить, что если блок модели должен перейти в состояние ожидания (простоя), то его следует исключить из списка событий ($MS[N_s] = 1e23$). Такой блок включается в список событий, если при очередной настройке системного времени выясняется, что причина его простоя устранилась.

Переход к блоку 7 алгоритма означает, что закончился очередной интервал моделирования. При этом обрабатывается статистика и определяется, достигнута ли заданная точность моделирования. Если точность моделирования не достигнута, то осуществляется переход на новый этап статистического моделирования (к блоку 2). Если точность достигнута, то выдаются результаты моделирования (блок 9).

Требуемое количество реализаций N определяется в соответствии с [6] по формуле:

$$N \geq \frac{1,96^2 * (\sigma[x])^2}{\Delta_0^2}, \quad (1)$$

где $\sigma[x]$ — среднеквадратичное отклонение вычисляемого параметра x , Δ_0 — заданная величина абсолютной ошибки определения среднего значения параметра x .

В соответствии с рассмотренным алгоритмом разработана программа языке программирования C++Builder 6.0. Интерфейс программы представлен на рисунке 3.

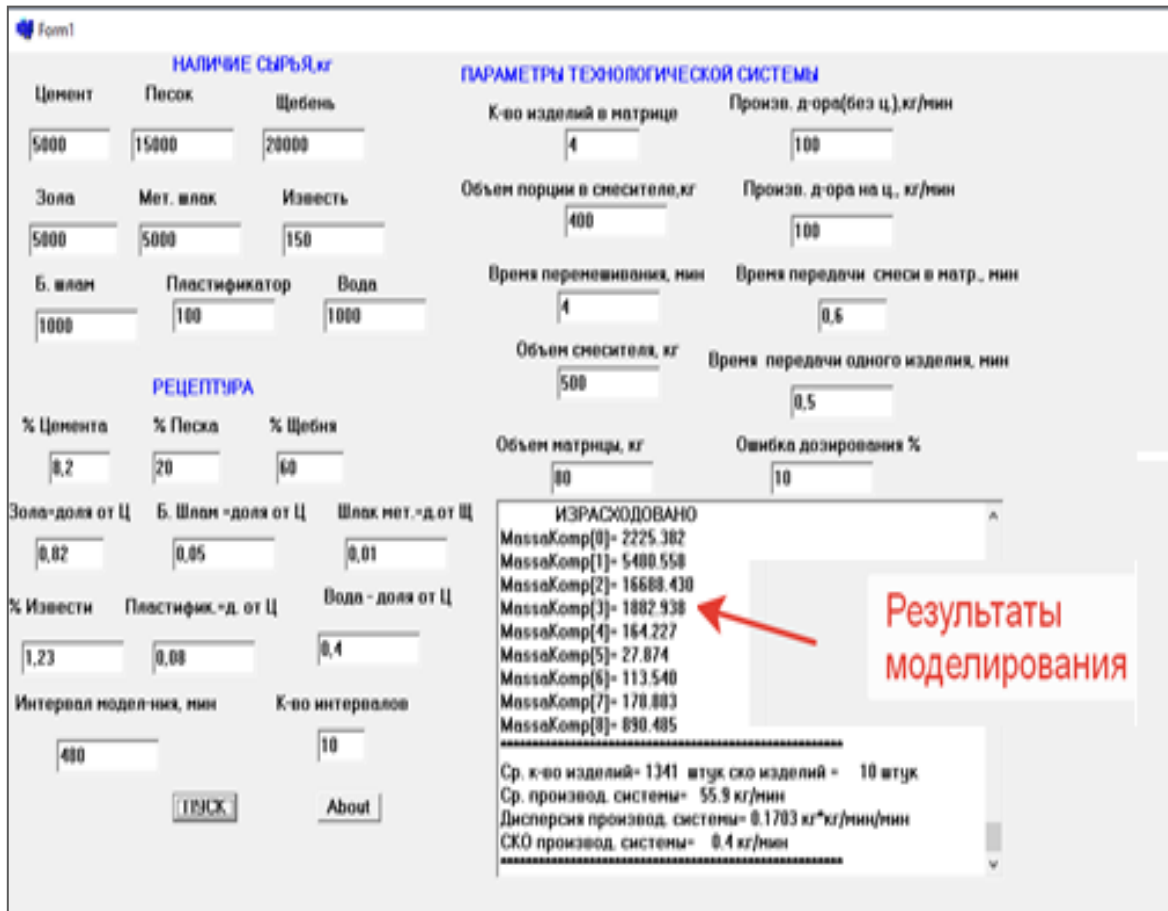


Рис. 3. Интерфейс программы имитационного моделирования

Результаты моделирования выдаются в специальном окне (указано стрелкой). Наличие сырья, рецептура, интервал моделирования и количество интервалов моделирования задаются в левой части экрана. Параметры технологической системы задаются над окном выдачи результатов.

Адекватность модели проводилась в соответствии с методом, изложенным в [6] на предприятии ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ» в г. Павлодаре республики Казахстан. Адекватность модели проверялась по параметру «производительность системы» с помощью критериев Стьюдента и Фишера. Проведенные производственные испытания подтвердили адекватность модели.

В результате проведенных исследований разработана адекватная модель технологической системы производства строительных изделий. Модель позволяет определить производительность системы в условиях разброса параметров технологической системы. Кроме того, модель позволяет проводить статистические исследования с целью оптимизации параметров технологических систем. Программа занесена в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом республики Казахстан [7].

Список литературы

1. Бабина О.И. Анализ современного состояния и перспектив моделирования в России. Состояния и перспективы // Экономика, статистика и информатика. – 2014. – № 6. – С. 205–209.
2. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и техника. – М.: Алтра-рекс, 2004. – 384 с.
3. Борщев А.В. Применение имитационного моделирования в России // Бизнес-информатика. – 2009. – № 4. – С.64–68.
4. Юсупов Р.М., Соколов Б. В. Имитационное моделирование и его применение в науке и технике // Вестник Российской академии наук. – 2008. – №78(3). – С. 471–472.
5. Akishev K., Vykov P., Aringazin K., Zhanserik Sh., Karpov V. Simulation model as tool to optimize the operation of the process line for manufacturing construction products // Palarch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology – 2020. – 17(10). – Pp. 2491–2499. – ISSN 1567-214x.
6. Карпов В.И. Имитационное моделирование систем. Электронный учебник. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 68 с.
7. Арынгазин К. Ш., Акишев К. М., Карпов В. И. Программа для ЭВМ, Имитационная модель технологической линии производства строительных изделий с использованием отходов промышленного производства. Свидетельство № 6653 от 26.11.2019 г.