

СТАТИСТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СТЕКЛОТАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Морозова Е.В.¹, Редько С.Г.²

¹ФГБОУ ВПО Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета, Камышин, Россия (403874, г. Камышин, Волгоградская обл., ул. Ленина, 6а) morozova@kti.ru

²ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

Для повышения качества работ по разработке и эксплуатации автоматизированных систем управления сложных стохастических систем целесообразным является применение вероятностного имитационного моделирования. В статье приводятся основные результаты статистических исследований работы базового оборудования стеклотарного производства. Анализ полученных данных показывает, что статистические распределения величин технико-технологических параметров функционирования оборудования могут быть аппроксимированы тремя известными теоретическими законами: нормальным, экспоненциальным и логнормальным. Полученные распределения для основных параметров работы системы и их числовые характеристики были использованы при построении имитационной модели функционирования оборудования стеклотарного производства. Полученные результаты также можно использовать при оценке ряда технико-экономических показателей эффективности работы оборудования стеклотарного производства и при оптимизации его работы.

Ключевые слова: моделирование, стеклотарное производство, статистические распределения.

STATISTICAL ASPECTS OF THE IMITATION MODELING COMPLEX SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT ON THE EXAMPLE OF GLASSWARE PRODUCTION

Morozova E.V.¹, Redko S.G.²

¹Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, Russia (403874, Kamyshin, avenue of .Lenin, 6a), morozova@kti.ru

²St.Peterburg State polytechnic university, St. Peterburg, Russia

To improve the quality of works on the development and operation of the automated control systems of complex stochastic systems, it is appropriate to use a probabilistic imitational modeling. The paper presents the main results of statistical studies of the work the basic equipment for glassware production. Analysis of the produced data shows that the statistical distributions of the technical and technological parameters of operation of the equipment can be approximated by three well-known theoretical laws: normal, exponential and log-normal. The distributions obtained for the main parameters of the work system and their numerical characteristics have been used in the construction of a simulation model of the functioning of the equipment for glassware production. The results also can be used in assessing the series of technical and economic performance of the efficiency work of equipment for glassware production and for optimization it's the work.

Keywords: modelling, glassware production, statistical distributions.

Введение

С точки зрения современной теории и практики автоматизации управления недостаточно проработанными остаются вопросы эффективного управления оборудованием, учитывающего необходимость адаптации параметров их функционирования. Для повышения качества работ по разработке и эксплуатации АСУ сложных систем технологического оборудования целесообразным является применение вероятностного имитационного моделирования. Статистические распределения случайных величин параметров

функционирования технологического оборудования, полученные на базе теоретических и экспериментальных исследований, позволяют повысить точность и эффективность моделирования сложных стохастических систем.

Статистические исследования сложных систем технологического оборудования требуют проведения большого объёма исследований по получению, накоплению, обработке и анализу информации, важнейшим этапом которых являются хронометражные наблюдения за работой отдельных машин с применением технических средств и инструментальных методов измерения.

Материалы и методика исследования

Сбор хронометражных данных начинается с эскизирования схемы работы объекта наблюдения, занесения в журнал его технико-технологических параметров. В начале и конце каждой смены фиксируются затраты времени на подготовительно-заключительные операции. Затраты времени на основные и вспомогательные операции фиксируются от момента окончания i -ой операции до момента окончания $(i + 1)$ -ой операции. Для получения информации о надёжности оборудования используются журналы наблюдений и регистрации отказов, ведущиеся диспетчерской службой и службой главного механика обследуемого предприятия.

После сбора первичной информации выполняется ее статистическая обработка и анализ. Статистическая обработка хронометражных данных заключается в подборе некоторого известного распределения (теоретического), моделирующего с определённой степенью точности эмпирическое статистическое распределение случайной величины X , согласно алгоритму, реализованному на ЭВМ (рис. 1).

Проверка правдоподобия гипотез о виде закона распределения (согласованность теоретического и статистических распределений) основана на определении расхождений между теоретическими вероятностями P_i и наблюдаемыми частотами P_i^* . При этом за меру расхождения принят критерий согласия Пирсона (критерий χ^2) [2]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{n(P_i^* - P_i)^2}{P_i},$$

где k – число интервалов распределения; P_i – вероятности попадания случайной величины в i -ый интервал с границами x_i и x_{i+1} ; n – число опытов (наблюдений).

При использовании критерия χ^2 достаточно велико должно быть не только общее количество опытов n , но и число наблюдений n_i в отдельных интервалах. Рекомендуется иметь в каждом интервале не менее 5–10 наблюдений. Если число наблюдений в отдельных интервалах менее 5, имеет смысл объединить интервалы.

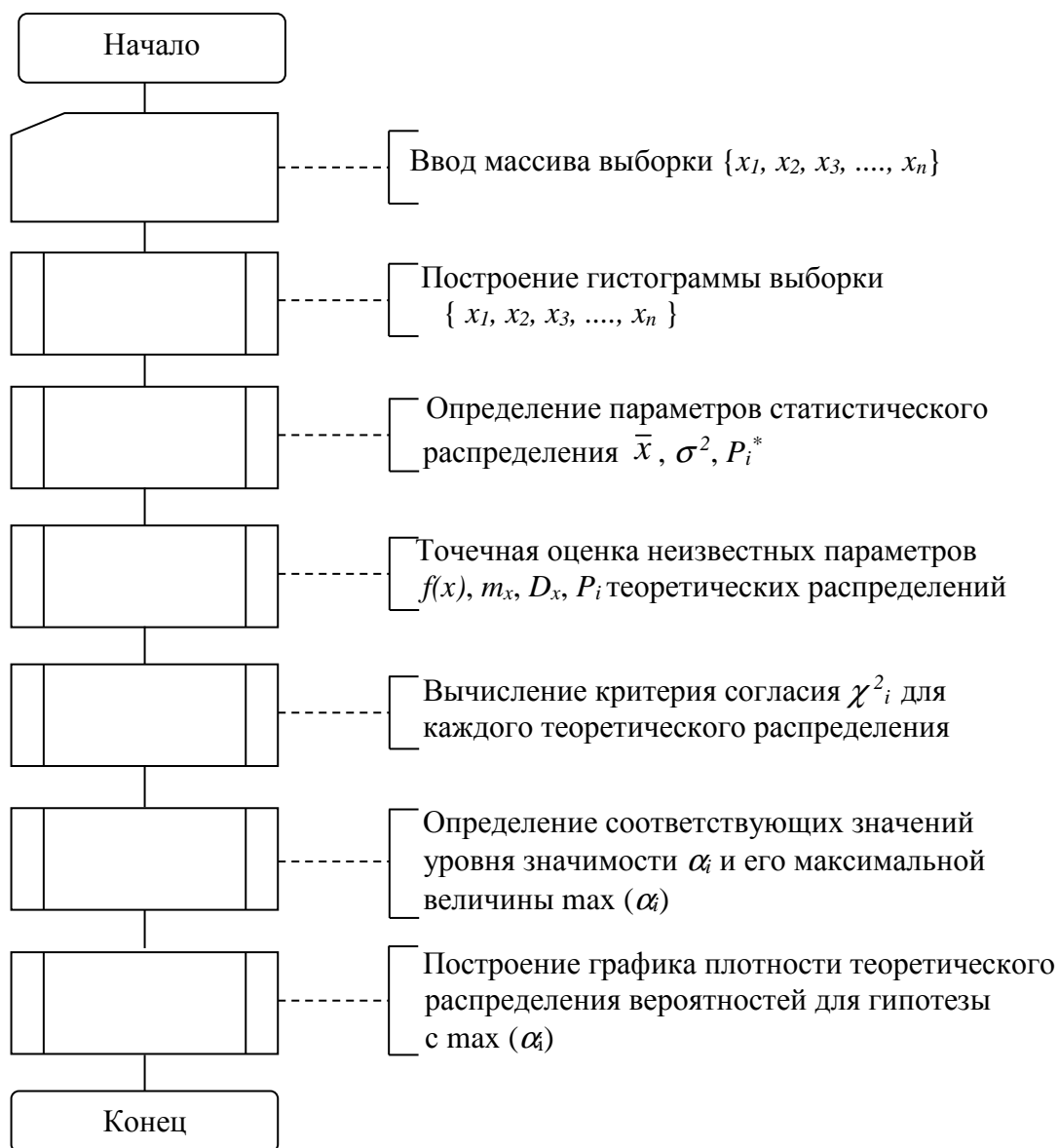


Рис. 1. Блок-схема алгоритма статистической обработки хронометражных данных

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с изложенной методикой статистических исследований были проведены хронометражные наблюдения за работой базового оборудования стеклотарного производства. Для получения данных о надежности оборудования использовались журналы наблюдений и регистрации отказов, ведущиеся диспетчерской службой и службой главного технолога. Некоторые результаты статистической обработки хронометражных данных приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты статистической обработки хронометражных данных

Параметры и статистические характеристики	Машинолинии (м/линии)		
	м/линия 1	м/линия 2	м/линия 3
$\bar{X}_{оп.вр.}^T$, час	0,1	0,12	0,24

$\sigma_{оп.вр.}^{2(T)}$	0,01	0,02	0,02
$\alpha_{оп.вр.}^T$	0,16	0,17	0,16
$f_{оп.вр.}^T$	Нормальная	Нормальная	Нормальная
$\bar{X}_н^T$, час	57,97	38,42	43,8
$\sigma_н^{2(T)}$	33,8	10,12	22,22
$\alpha_н^T$	0,013	0,014	0,011
$f_н^T$	Экспоненциальная	Экспоненциальная	Экспоненциальная
$\bar{X}_в^T$, час	0,15	0,12	0,24
$\sigma_в^{2(T)}$	0,1	0,05	0,13
$\alpha_в^T$	0,37	0,3	0,42
$f_в^T$	Логнормальная	Логнормальная	Логнормальная

$\bar{X}_{оп.вр.}^T$, $\bar{X}_н^T$, $\bar{X}_в^T$ – математическое ожидание соответственно оперативного времени, наработки на отказ и восстановления; $\sigma_{оп.вр.}^{2(T)}$, $\sigma_н^{2(T)}$, $\sigma_в^{2(T)}$ – дисперсия соответственно оперативного, наработки на отказ и восстановления; времени; $\alpha_{оп.вр.}^T$, $\alpha_н^T$, $\alpha_в^T$ – уровень значимости распределения соответствующей случайной величины; $f_{оп.вр.}^T$, $f_н^T$, $f_в^T$ – функция плотности вероятностей соответствующей случайной величины.

Анализ табличных данных показывает, что статистические распределения случайных величин технико-технологических параметров функционирования оборудования достаточно хорошо аппроксимируются тремя теоретическими законами: нормальным, экспоненциальным и логнормальным. Нормальному закону распределения подчиняются случайные значения времени выполнения основных и вспомогательных операций, выполняемых технологическим оборудованием линии по производству стеклотары, а также величины загрузки шихты и стеклобоя в стекловаренную печь при уровне значимости, изменяющемся от 0,09 до 0,99. Экспоненциальному и логнормальному законам распределения подчиняются случайные значения, соответственно, наработки на отказ и времени восстановления всех видов и типов рассматриваемого оборудования при изменении уровня значимости для экспоненциального закона от 0,08 до 0,95 и логнормального – от 0,18 до 0,95. Такой разброс параметра $\max \{\alpha_i\}$ вызван субъективными факторами, связанными с ошибками наблюдений в производственных условиях.

На рис. 2 представлены совмещенные графики гистограмм выборки и выравнивающих кривых теоретических распределений для трех законов, полученных при обработке данных наблюдений: нормального, экспоненциального и логнормального. Графики построены применительно к распределениям случайных величин оперативного времени подачи порции

шихты и стеклобоя загрузчиком в стекловаренную печь, времени его наработки на отказ и времени восстановления. Выравнивающие кривые описываются функциями вида:

$$\text{для нормального закона} - f(x_{\text{оп.п}}^T) = 1,48 e^{-(x_{\text{оп.п}}^T - 0,82)^2 / 0,146};$$

$$\text{для экспоненциального закона} - f(x_p^T) = 0,0022 e^{-0,0022 \bar{x}_p^T};$$

$$\text{для логнормального} - f(x_{o.б}^T) = (1/0,3 \bar{x}_{o.б}^T) e^{-(\ln x_{o.б}^T - 3,9)^2 / 0,003}.$$

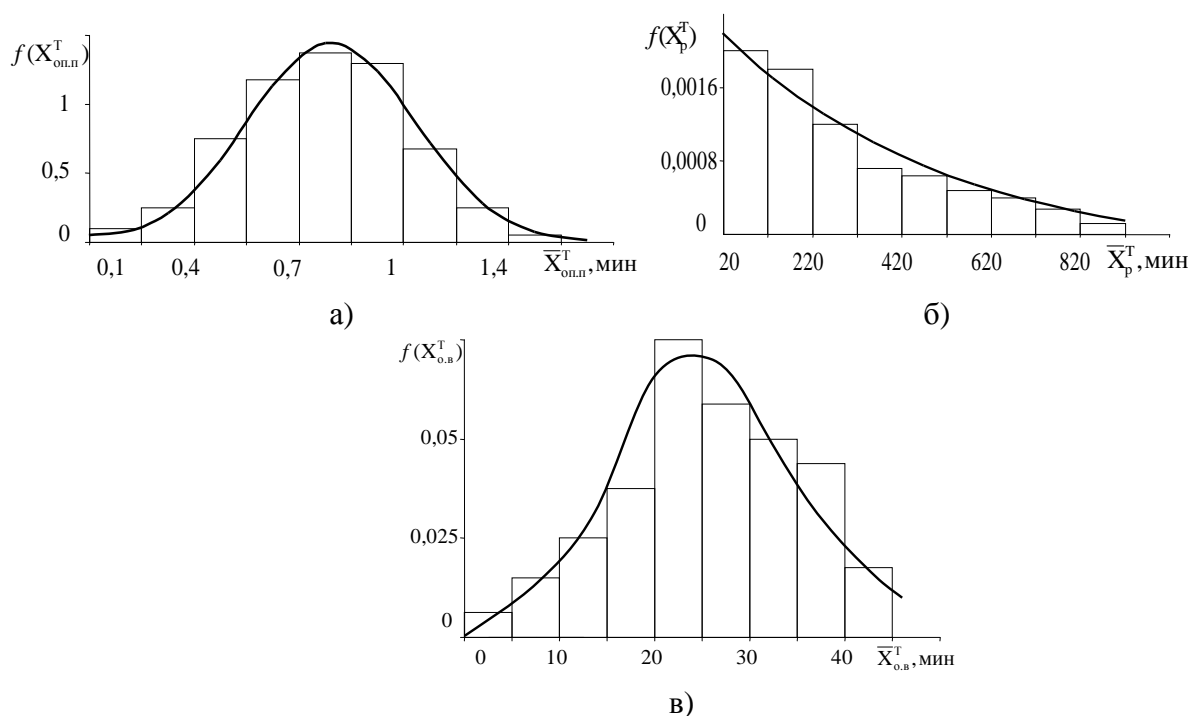


Рис. 2. Гистограммы и кривые теоретических распределений случайных величин функционирования погрузчика смеси шихты и стеклобоя: а) – оперативного времени погрузки порции смеси; б) – наработки на отказ; в) – времени восстановления погрузчика.

Из рис. 2 видно, что теоретические кривые распределения $f(x)$, сохраняя в основном существенные особенности статистических распределений, свободны от случайных неправильностей хода гистограмм, которые могут быть отнесены за счет погрешностей измерения при фотохронометражных наблюдениях. Этот вывод подтверждают высокие уровни значимости $\max\{\alpha\}$ при проверке степени соответствия по критерию Пирсона (χ^2) выдвинутых гипотез со статическим материалом: для нормального закона $\alpha_{\text{оп.п}}^T = 0,95$, экспоненциального – $\alpha_p^T = 0,76$, и логнормального – $\alpha_{o.б}^T = 0,95$.

Закключение

Полученные теоретические распределения и их числовые характеристики были использованы при синтезе имитационной модели функционирования оборудования линии стеклотарного производства, разработке и реализации ее программного обеспечения [4, 5]. Кроме того, полученные статистические данные можно применять при оценке технической

производительности оборудования, использовать эти оценки в процессе формирования альтернативных объекто-вариантов при реализации методики оптимизационных расчетов параметров функционирования машинолинии.

Список литературы

1. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 401 с.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. – Изд. 7-е, стер. – М.: Высшая школа, 1999. – 479 с.
3. Математическое моделирование: Методы описания и исследования сложных систем / Под ред. А. А. Самарского. – М.: Наука, 1989. – 271 с.
4. Морозова Е. В. Автоматизированное управление массовым стеклотарным производством на базе моделей функционирования технологического оборудования. – СПб.: ООО «Техномедиа» / Изд-во «Эльмор», 2011. – 166 с.
5. Морозова Е.В. Построение автоматизированного технологического комплекса стеклотарного производства и основные требования к технологическим процессам и оборудованию // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 12 . – С. 66-69.

Рецензенты:

Фомин Б.Ф., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автоматики и процессов управления» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург.

Коршунов Г.И., д.т.н., профессор, генеральный директор общества с ограниченной ответственностью «Пантес групп», г. Санкт-Петербург.