

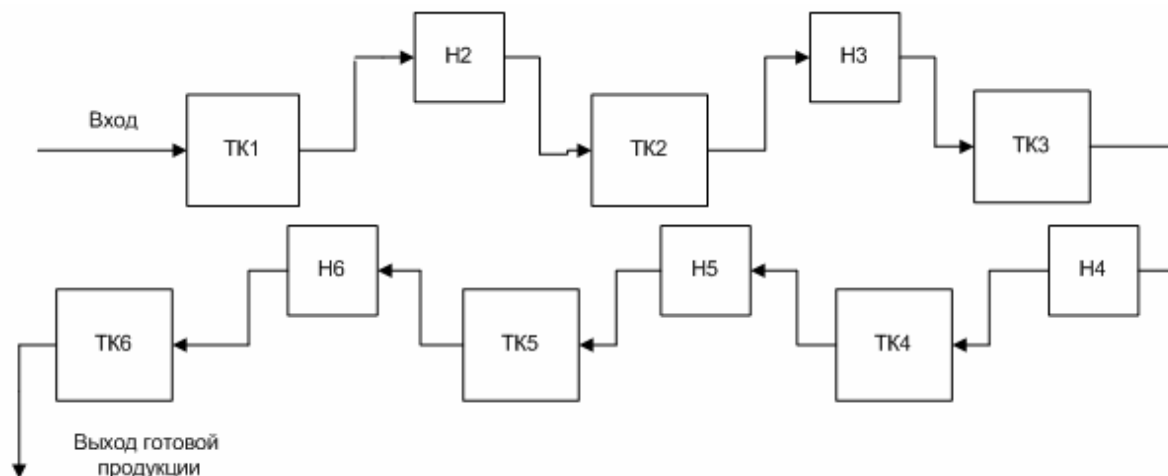


Рисунок 2 – Структурная схема АЛРМ, приведенная к нормальному виду ОГАЛ

В состав линии, структура которой показана на рисунке 1, входит следующее основное и вспомогательное технологическое оборудование: комплекс подачи тары, тарный транспортер, автомат ИА-042 извлечения бутылок, транспортер извлекателя, моечная машина Т1-ОМД-В, транспортер мойки, световая инспекция, разливо-укупорочный автомат, автомат для укладки готовой продукции, транспортер укладчика, ящикомоечная машина, ящичный транспортер, приводная станция, а также стопкосборщик. АЛРМ функционирует следующим образом: по тарному транспортеру от комплекса подачи тары поступает на линию пустая тара в ящиках, далее автомат ИА-042 извлекает бутылки из ящиков, затем по транспортеру извлекателя бутылки поступают на моечную машину Т1-ОМД-В. В свою очередь, транспортер мойки перемещает чистые бутылки от моечной машины через световую инспекцию – участок светового контроля чистоты вымытых бутылок, непосредственно к разливо-укупорочному автомату марки ОРБУ, на котором осуществляются технологические процессы разлива молока, штамповки алюминиевых колпачков и последующей укупорки ими молочных бутылок. Готовая продукция перемещается далее с помощью транспортера разливо-укупорочного автомата, который связывает последний с автоматом, предназначенным для укладки продукции в ящики. Ящичный транспортер, по которому движутся пустые ящики от извлекателя к укладчику, образует вторую ветвь АЛРМ. На этом транспортере имеется ящично-моечная машина для мытья ящиков с целью их дезинфекции. После укладки в ящики готовая продукция по транспортеру укладчика поступает к стопкосборщику в холодильные камеры, а затем, после охлаждения до требуемой температуры, загружается в изотермические фургоны и доставляется потребителям. АЛРМ имеет возможность гибкой переналадки на разлив молока и жидких молокопродуктов в бутылки двух типов, ёмкостью 0,5 и 1,0 литра. При исследовании функционирования АЛРМ был использован метод пассивных производственных экспериментов, который заключается в обобщении и статистическом анализе данных, полученных при наблюдениях за эксплуатацией АЛРМ в течение 12 месяцев эксплуатации. С учетом рассмотренных особенностей компоновки АЛРМ, получены средние значения времени $\bar{t}_i$, час, обслуживания единицы продукции для каждого технологического комплекса (ТК), входящего в структуру линии, а для накопителей $H_2 - H_6$ определены их емкости (объемы участков межоперационного накопления) m_k , шт. На рисунке 1 отдельные единицы оборудования обозначены следующим образом: ТК₁ соответствует комплексу формирования входного потока ящиков с пустыми бутылками (транспорт-площадка хранения – тарный участок до загрузки на тарный транспортер); Н₂ – тарный транспортер; ТК₂ – автомат извлечения бутылок; Н₃ – транспортер извлекателя; ТК₃ – моечная машина; Н₄ – транспортер моечной машины; ТК₄ – разливо-укупорочная машина; Н₅ – транспортер разливо-укупорочного автомата; ТК₅ – укладчик; Н₆ – транспортер укладчика; ТК₇ – ящикомоечная машина; Н₇ и Н₈ – участки ящичного транспортера соответственно до и после ТК₇. С последнего в структуре линии ТК₈ (стопкосборщика) ящики с готовой продукцией поступают в холодильные камеры. Параметры быстродействия основного технологического оборудования, значения емкостей накопителей и средние длины очередей в них приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры быстрого действия основного технологического оборудования, значения емкостей накопителей АЛРМ m_k и средние длины очередей в них L_k

№	Наименование оборудования	Обозначение в структуре	Время обслуживания единицы продукции t , час	Значения емкостей накопителей m_k , мест и средних длин очередей в них L_k , шт	Примеч.
1	Комплекс подачи тары	ТК1	0.000167	-	В расч. на 1 изделие
2	Извлекатель	ТК2	0.000167	-	Не отк.
3	Моечная машина	ТК3	0.000154	-	
4	Разливо-укупорочная машина	ТК4	0.000417	-	
5	Укладчик	ТК5	0.000167	-	
6	Стопкосборщик	ТК6	0.000167	-	
7	Тарный транспортер	Н2	-	240 / 238,4	
8	Транспортер извлекателя	Н3	-	649 / 645,85	Не отк.
9	Транспортер мойки	Н4	-	74 / 61,97	Не отк.
10	Транспортер разливо-укупорочной машины	Н5	-	74 / 4,167	Не отк.
11	Транспортер укладчика	Н6	-	300 / 4,36	

Согласно классификации, предложенной в [2], рассматриваемая АЛРМ может быть отнесена к многопоточным ГАЛ сборки (МГАЛС), содержащим сходящиеся, предварительно разделенные потоки. Однако, при анализе результатов пассивного производственного эксперимента установлено, что в ветви, обеспечивающей мойку тары, всегда имеются ящики, вследствие высокой надежности и производительности составляющего ее оборудования (Н7 – ТК7 – Н8), ее влияние на величину коэффициента готовности всей АЛРМ крайне незначительно и им можно пренебречь, для упрощения исследований, без заметного снижения точности описания рассматриваемой системы. Вместе с тем возможно исследование и моделирование АЛРМ как МГАЛС, с использованием метода вложенных итераций, приведенного в [2]. В силу указанных обстоятельств основную ветвь АЛРМ (ТК1 – ТК6 и Н2 – Н6) представляется возможным рассматривать как однопоточную гибкую автоматизированную линию. На рисунке 2 изображена структура АЛРМ (основная ветвь), приведенная к нормальному виду однопоточной ГАЛС (ОГАЛС) [1]. В таблицах 2,3 приведены статистически обработанные экспериментальные значения параметров распределения времени безотказной работы и времени восстановления оборудования АЛРМ.

Таблица 2 – Параметры распределения времени безотказной работы оборудования АЛРМ

№	Наименование оборудования	Обозначение в структуре АЛРМ	Математич. ожидание M	Дисперсия D	Сумма S
1	Комплекс подачи тары	ТК 1	49,4	887,31	1580,81
2	Моечная машина	ТК 3	118,19	4666,09	2245,71
3	Разливо-укупорочная машина	ТК 4	61, 24	1171,0	1469,69
4	Укладчик	ТК 5	118,28	5218,4	3666,69
5	Стопкосборщик	ТК 6	72, 62	1685,76	1524,91
6	Тарный транспортер	Н 2	62, 79	1909,48	1067,34
7	Транспортер укладчика	Н 6	192, 116	10132,12	6531,95

Таблица 3 – Параметры распределения времени восстановления оборудования АЛРМ

№	Наименование оборудования	Обозначение в структуре	Дисперсия D	Сумма S
1	Комплекс подачи тары	ТК 1	887,31	32,65
2	Моечная машина	ТК 3	4666,09	17,93
3	Разливо-укупорочная машина	ТК 4	1171,0	18,24
4	Укладчик	ТК 5	5218,4	32,58
5	Стопкосборщик	ТК 6	1685,76	16,22
6	Тарный транспортер	Н 2	1909,48	8,32
7	Транспортер укладчика	Н 6	0,245	16,22

В результате проведенных замеров фактической производительности АЛРМ за 35 суток непрерывных наблюдений было получено среднее значение $\Pi_{\text{лин}}=34517,3$ бут/сутки, что соответствует в среднем 2157,331 бут/час и составляет примерно 89,9% паспортной производительности. Аналогичные результаты были получены после обработки статистических данных по фактической производительности за 12 месяцев работы АЛРМ. При сопоставлении результатов моделирования процесса функционирования линии с данными производственного эксперимента необходимо определить допущения, позволяющие корректно применять математическую модель: 1. На выходе линии всегда имеется свободное место для готовой продукции и отказы линии по причине переполнения холодильных камер невозможны. 2. Восстановление (ремонт) осуществляется немедленно после обнаружения отказа и отключения неисправного агрегата или механизма и включает в себя проведение диагностических мероприятий, выявление отказавших элементов и восстановление работоспособности оборудования, в том числе с заменой при необходимости узлов и деталей, восстановление которых возможно исключительно в условиях ремонтного цеха. Время, необходимое для обнаружения (диагностики) отказа включается в общее время восстановления. 3. Отказавшие невосстанавливаемые узлы и детали заменяются новыми, запас которых на складе предприятия предполагается достаточным и регулярно возобновляемым в соответствии с установленными нормативами, рассчитанными по общепринятым методикам. 4. После восстановления работоспособности оборудования при необходимости производится его испытание, а также выполняются установленные нормативными документами мероприятия по предотвращению загрязнения готовой продукции материалами и веществами, применяемыми в процессе ремонта, а также проводится контроль физико-химических и бактериологических параметров молока с целью недопущения выпуска продукции, не соответствующей требованиям стандартов. Суммарное время, необходимое для выполнения мероприятий, перечисленных в п. 3...5, считается временем восстановления оборудования. 5. Ящики с пустой тарой постоянно подаются на вход АЛРМ. Снижение производительности линии из-за отсутствия тары на входе (т.е. из-за организационных простоев) возможно легко оценить путем подсчета суммарной величины простоев по указанной причине с последующей коррекцией величины производительности, рассчитанной без учета организационных простоев. 6. На ТК4 постоянно подаются компоненты, необходимые для получения готовой продукции. Простои по причине отсутствия указанных компонентов считаем практически невозможными, а в случае их возникновения относим к группе простоев по организационным причинам. Из наблюдательных листов, полученных при хронометраже работающих агрегатов АЛРМ, последовательно определялись периоды безотказной работы и периоды простоев оборудования линии из-за отказов механизмов и агрегатов, а также по организационным причинам, например, из-за отсутствия тары. Все полученные в процессе пассивного производственного эксперимента значения времени безотказной работы и восстановления распределены по разрядам, подсчитано в каждом разряде число случаев и определена статистическая плотность распределения эмпирических данных $f(t)$ времени безотказной работы отдельных структурных элементов линии и времени восстановления их работоспособности:

$$f(t) = \frac{\Delta N_i}{N \Delta t_i},$$

где N – общее число отказов (ремонтов) за время наблюдения; ΔN_i – число отказов (ремонтов), попавших в 1-й разряд; Δt_i – величина 1-го разряда.

После вычисления плотности вероятности $f(t)$ по полученным данным строим статистическую диаграмму плотности вероятности наработки на отказ T_o (восстановления T_v), которая находится по тем же данным, как среднестатистическая величина:

$$T_o(T_e) = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_i \cdot t_i}{N},$$

где N_i – общее число случаев отказов (ремонт), попавших в 1-й разряд; n – число разрядов; t_i – середина i -го разряда:

$$P(\Delta t_o) = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta N_i}{N}$$

$$F(\Delta t_e) = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta N_i}{N}$$

Таким образом, получены статистические вероятностные функции $P(t_o)$ и $F(t_e)$. Были рассмотрены гипотезы о том, что экспериментальные значения времени наработки на отказ и восстановления могут быть распределены по закону Эрланга второго порядка со смещением, либо по экспоненциальному закону. Получены значения вероятностных теоретических функций надежности $P(t_o)$ и $F(t_e)$ и проверено соответствие эмпирического и принятого теоретического законов по критерию согласия Пирсона $P(\chi^2)$. При $P(\chi^2) > 0,1$ можно считать, что принятое теоретическое распределение не противоречит полученным экспериментальным данным. Проверка была начата с экспоненциального закона, как общепринятого для описания надежности различных технических систем. Обработка результатов эксперимента выполнена по общепринятой методике. Из таблицы 4 видно, что для экспоненциального закона $0,05 < p < 0,22$, а для закона Эрланга второго порядка со смещением вероятность p лежит в пределах от 0,5 до 0,85, что однозначно подтверждает обоснованность применения закона Эрланга для аппроксимации реальных распределений параметров надежности ГАЛС. На рисунке 3 приведен пример достаточно хорошей аппроксимации реального распределения законом Эрланга для транспортера укладчика. Возможно также использование экспоненциального закона, но погрешности при этом будут существенно выше. Анализ причин отказов оборудования показал, что большая часть из них, 28% возникали в механических узлах.

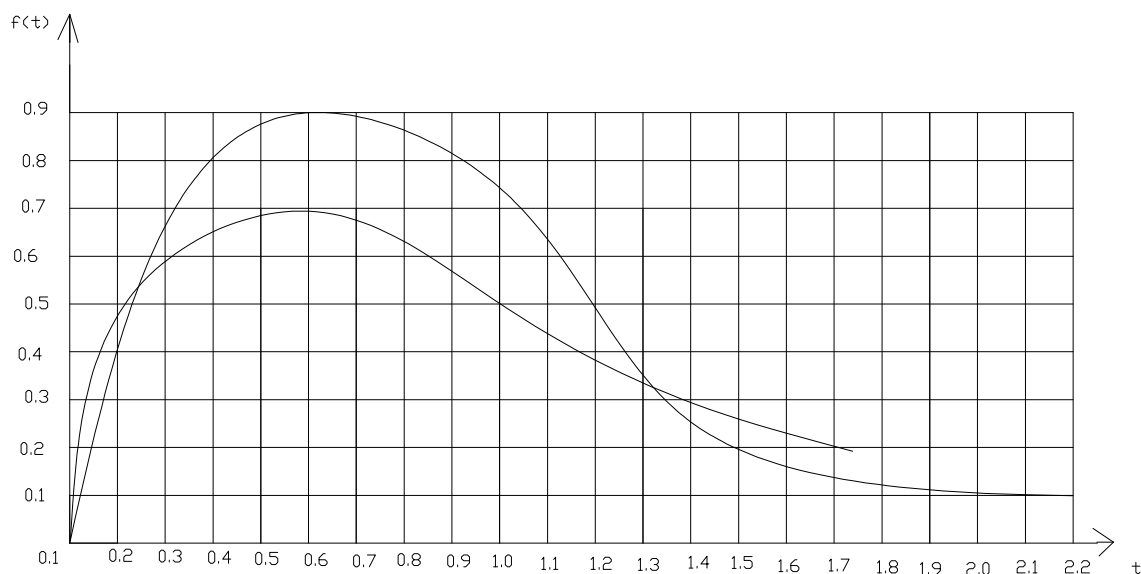


Рисунок 3. Плотность распределения времени восстановления транспортера укладчика

Таблица 4 – Результаты проверки соответствия экспоненциальному закону и закону Эрланга второго порядка со смещением по критерию Пирсона экспериментальных распределений времени восстановления агрегатов АЛРМ

№	Наименование оборудования	Обозн-е в стр-ре	Закон Эрланга			Экспоненц. закон		
			χ^2	Число степ. своб. г	Вер. р	χ^2	Число степ. своб. г	Вер. р
1	Комплекс подачи тары	ТК1	2,7	5	0,75	9,56	6	0,09
2	Моечная машина	ТК3	2,51	3	0,46	7,78	4	0,07
4	Разливо-укупорочная машина	ТК4	5,415	6	0,49	11,63	7	0,14
5	Укладчик	ТК5	1,76	4	0,78	7,73	5	0,12
6	Стопкосборщик	ТК6	1,6	3	0,66	7,49	4	0,11
7	Тарный транспортер	Н2	2,03	3	0,56	6,88	4	0,11
8	Транспортер укладчика	Н6	2,01	5	0,86	7,8	6	0,2

Таблица 5 – Результаты проверки соответствия экспоненциальному закону и закону Эрланга второго порядка со смещением по критерию Пирсона экспериментальных распределений времени восстановления агрегатов АЛРМ

№	Наименование оборудования	Обозн-е в стр-ре	Закон Эрланга 2 порядка со смещением			Экспоненциальный закон		
			χ^2	Число степен. своб. г	Вер-ть р	χ^2	Число степен. своб. г	Вер-ть р
1	Комплекс подачи тары	ТК1	2,7	5	0,75	9,56	6	0,09
3	Моечная машина	ТК3	2,51	3	0,46	7,78	4	0,07
4	Разливо-укупорочная машина	ТК4	5,415	6	0,49	11,63	7	0,14
5	Укладчик	ТК5	1,76	4	0,78	7,73	5	0,12
6	Стопкосборщик	ТК6	1,6	3	0,66	7,49	4	0,11
7	Тарный транспортер	Н2	2,03	3	0,56	6,88	4	0,11
8	Транспортер укладчика	Н6	2,01	5	0,86	7,8	6	0,2

Таблица 6 – Результаты расчета параметров λ_1 , λ_2 и τ обобщенного закона Эрланга второго порядка со смещением

№	Наименование оборудования	Обозначение в структуре	λ_1	λ_2	Смещение τ
1	Комплекс подачи тары	ТК1	0,032	0,032	20,75
2	Моечная машина	ТК3	0,013	0,013	60,83
3	Разливо-укупорочная машина	ТК4	0,0238	0,238	35,833
4	Укладчик	ТК5	0,0135	0,0135	46,162
5	Стопкосборщик	ТК6	0,02	0,02	40,74
6	Тарный транспортер	Н2	0,031	0,031	2,95
7	Транспортер укладчика	Н6	0,072	0,072	13,64

Анализ функционирования АЛРМ показал, что параметры надежности отдельных технологических и транспортно-накопительных устройств линии существенно выше по сравнению с другими. Вследствие этого за ограниченный период наблюдений невозможно собрать достаточный объем данных для определения экспериментальных функций распределения времени наработки на отказ и восстановления всех указанных устройств. В рассматриваемой линии для извлекателя и его транспортера, а также транспортеров мойки и разливо-укупорочной машины с достаточной точностью справедливо считать надежность указанных машин абсолютной, в пределах длительности эксперимента.

Подставляя в программу расчета производительности и надежности ГАЛС исходные данные для элементов из таблиц 1..6, определим расчетную производительность линии: $P_{\text{АЛРМ}} = 2212,8$ бут/час;

средние длины очередей в накопителях линии Н2 – 231,45 шт; Н3 – 640,63 шт; Н4 – 60,38 шт; Н5 – 4,61 шт; Н6 – 4,06 шт., коэффициент готовности $K_r = 0,922$. Аналогичные расчеты могут быть произведены с использованием других математических моделей, построенных для объектов рассматриваемого класса.

Таблица 7 – Параметры для распределений времени восстановления оборудования АЛРМ

№	Наименование оборудования	Обозначение в структуре	λ_1	λ_2	Смещение τ
1	Комплекс подачи тары	ТК1	1,62	1,62	20,75
2	Моечная машина	ТК3	1,39	1,39	0,7
3	Разливо-укупорочная машина	ТК4	1,731	1,731	0,572
4	Укладчик	ТК5	1,45	1,45	0,451
5	Стопкосборщик	ТК6	1,97	1,97	0,3175
6	Тарный транспортер	Н2	2,82	2,82	0,346
11	Транспортер укладчика	Н6	2,69	2,69	0,226

Сравнение результатов расчетов и экспериментальных данных по надежности и производительности АЛРМ приведено в таблице 8, из которой видно, что расчетные результаты отличаются от экспериментальных по K_r не более, чем на 1% по величинам заделов промежуточной продукции в накопителях до 6%, по производительности линии до 1%, что подтверждает адекватность модели ГАЛС.

Результаты проведенного производственного эксперимента могут использоваться для проверки адекватности математических моделей, построенных для исследования реальных объектов, структура которых соответствует структуре АЛРМ.

Таблица 8 – Сравнение расчетных и экспериментальных данных по АЛРМ

N	Вид оборудования АЛРМ	Экспериментальные значения параметров оборудования АЛРМ		Показатели работы АЛРМ				
				Расчётные по модели		фактические		
		Время obs. 1 изд. t, ч	Ср. дл. очереди L, шт.	L^M , шт.	K_r^M	$\Pi_{\text{лин}}^M$, шт/ч	K_r^F	$\Pi_{\text{лин}}^F$, шт/ч
1	ТК1	0,000167	238,17	231,45	0,922	2305,79	0,924	2308,65
2	Н2							
3	ТК2	0,000167	645,88	640,63				
4	Н3							
5	ТК3	0,0000154	62,33	60,38				
6	Н4							
7	ТК4	0,000417	4,84	4,61				
8	Н5							
9	ТК5	0,000167	4,29	4,06				
10	Н6							
11	ТК6	0,000167						

Перспективы дальнейших исследований состоят в построении математических моделей, описывающих объекты рассматриваемого класса и проверка их адекватности на основе результатов пассивных производственных экспериментов.

Библиографический список

1. Рапакций Ю.Л. Повышение производительности гибких автоматизированных линий сборки на базе системного моделирования: автореф. дис... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук / Ю.Л. Рапакций. — Севастополь: Изд-во МГИ НАНУ, 1996. — 24 с.
2. Пашков Е.В. Транспортно-накопительные и загрузочные системы в сборочном производстве: учеб. пособие / Е.В. Пашков, В.Я. Копп, А.Г. Карлов. — К.: УМК ВО, 1992. — 536 с.

Поступила в редакцию 23.04.2010 г.