

Григорьевская Т.Ю., Михайлова Е.М., Филиппов Р.Н., Фомин М.С. Имитационная модель расчета запасов в комплектах ЗИП при использовании стратегии периодического пополнения с экстренными доставками. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей XIV Междунар. научно-техн. конф. – Пенза: ПДЗ, 2014. – С. 81-86.

УДК 004.942

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ЗАПАСОВ В КОМПЛЕКТАХ ЗИП ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТРАТЕГИИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПОПОЛНЕНИЯ С ЭКСТРЕННЫМИ ДОСТАВКАМИ

Т.Ю. Григорьевская, Е.М. Михайлова, Р.Н. Филиппов, М.С. Фомин

## SIMULATION MODEL FOR RESERVES CALCULATION IN SPTA KITS FOR REGULAR REPLENISHMENT STRATEGY WITH EMERGENCY DELIVERIES

T.Yu. Grigoryevskaya, E.M. Mikhaylova, R.N. Filippov, M.S. Fomin

**Аннотация.** Рассмотрена имитационная модель расчета запасов в комплектах ЗИП для стратегии периодического пополнения с экстренными доставками. Представлен базовый алгоритм работы имитационной модели.

**Ключевые слова:** комплект ЗИП, имитационная модель, стратегия пополнения, расчет запасов.

**Abstract.** The article reviews the logic of simulation model for reserves calculation in SPTA kits for regular replenishment strategy with emergency deliveries. The basic algorithm of the simulation model is also shown.

**Keywords:** SPTA kit, simulation model, replenishment strategy, reserves calculation.

В настоящее время задача расчета запасов в комплектах ЗИП на практике решается с использованием аналитических методик, основанных на математическом аппарате теории массового обслуживания и, в частности, марковских цепях с конечным числом состояний [1, 2].

Современный уровень развития вычислительной техники позволяет использовать метод имитационного моделирования, являющийся альтернативой существующим аналитическим моделям расчета запасов в комплектах ЗИП [3]. При имитационном моделировании сохраняется логическая структура исследуемой системы, последовательность протекания во времени процессов ее функционирования, характер и состав информации о состояниях системы. Имитационная модель позволяет учитывать многие особенности конструктивного построения и функционирования систем, эксплуатация которых предусматривает использование комплектов ЗИП.

Совокупность правил, определяющих момент выдачи, длительность, источник и порядок реализации заявки на пополнение запасного элемента (ЗЭ) в комплектах ЗИП называется стратегией пополнения запаса. В [2] рассматриваются следующие четыре типа стратегий пополнения запасов:

1. Периодическое пополнение ( $S_I$ ).

2. Периодическое пополнение с экстренными доставками ( $S_2$ ).

3. Непрерывное пополнение ( $S_3$ ).

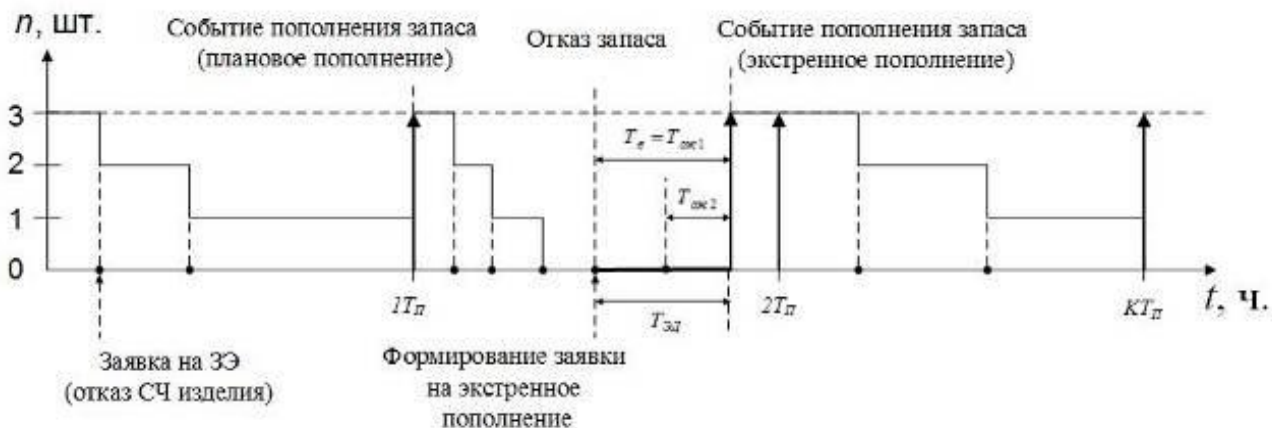
4. Пополнение по уровню неснижаемого запаса ( $S_4$ ).

В данной статье в качестве примера рассмотрена логика работы имитационной модели расчета запасов в комплектах ЗИП для стратегии периодического пополнения с экстренными доставками. Перечень идентификаторов переменных, используемых в имитационной модели, а также их описание приведены в таблице.

*Идентификаторы переменных и их начальные значения*

Идентификатор	Описание	Начальное значение
$n$	Текущий уровень запаса в комплекте ЗИП	Задается уровень запаса, указанный в ведомости ЗИП
$T_m$	Модельное время	0
$T_{экс.}$	Время эксплуатации ЗИП	0
$T_6^\Sigma$	Суммарное время восстановления запаса (время пребывания запаса в состоянии отказа)	0
$T_{ож.}^\Sigma$	Суммарное время ожидания заявками на восстановление СЧ. Ожидание связано с недостаточностью ЗЭ	0
$CЗ$	Счетчик заявок на ЗЭ, поступающих в комплект ЗИП за время $T_{экс.}$	0
$T_{отк.}$	Момент времени перехода запаса в состояние отказа	-1
$T_{Ei}$	Время наступления события $i$ -го типа ( $i = \overline{1,5}$ )	-
$S_2$	Тип стратегии пополнения	-

Временная диаграмма функционирования имитационной модели расчета запасов для стратегии периодического пополнения с экстренными доставками приведена на рисунке.



*Временная диаграмма функционирования имитационной модели  
расчета запасов для стратегии периодического пополнения  
с экстренными доставками*

Базовый алгоритм работы имитационной модели расчета запасов для рассматриваемой стратегии пополнения заключается в следующем:

1. Задаются начальные значения переменных.
2. Формируется заявка на плановое пополнение запаса ( $E_3$ ), которая помещается в очередь исходящих событий.
3. Выполняется проверка очереди входящих событий. Если очередь пуста, то ожидаются входящие события. Иначе выполняется переход к п. 4.
4. Обработывается ближайшее событие из очереди. Модельное время смещается к начальному моменту ( $T_m = T_{E_i}$ ).
5. Проверяется тип входящего события:  
 если тип события  $E_1$  (отказ СЧ изделия (запрос на замену отказавшей СЧ)), то переход к п. 6;  
 если тип события  $E_3$  (заявка на пополнение (восстановление) запасов), то переход к п. 7;  
 если тип события  $E_4$  (пополнение запасов в комплекте ЗИП), то переход к п. 9;  
 если тип события  $E_5$  (окончание моделирования), то переход к п. 10;  
 иначе переход к п. 11 с сообщением об ошибке «неверный тип события».
6. Увеличивается значение счетчика заявок на ЗЭ ( $CЗ = CЗ + 1$ ) и проверяется текущий уровень запаса. Если  $n = 0$  (произошел отказ запаса), то запоминается момент отказа ( $T_{отк.} = T_{E_1}$ ) и формируется заявка на экстренное пополнение запаса. Иначе уменьшается текущий уровень запаса по формуле (1), а событие восстановления СЧ ( $E_2$ ) помещается в очередь исходящих событий. Далее выполняется переход к п. 3.

$$n = n - 1. \tag{1}$$

7. Увеличивается текущий уровень запаса по формуле (2). Формируется заявка на очередное плановое пополнение запаса (если текущее пополнение не было экстренным). Проверяется очередь заявок, ожидающих обслуживания. Если очередь не пуста, то выполняется переход к п. 8, иначе переход к п. 3.

$$n = n + n_{ист.}, \tag{2}$$

где  $n_{ист}$  – количество ЗЭ, поступивших в запас из источника пополнения.

8. До тех пор пока в очереди находятся ожидающие обслуживания заявки и  $n > 0$ , из этой очереди извлекается заявка и вычисляется время ожидания ее выполнения:

$$T_{ож} = T_{E4} - T_{E1}, \quad (3)$$

где  $T_{E1}$  – момент времени, в который заявка была помещена в очередь ожидания обслуживания.

Суммарное время ожидания вычисляется как

$$T_{ож.}^{\Sigma} = T_{ож.}^{\Sigma} + T_{ож.} \quad (4)$$

После каждого восстановления корректируется текущий уровень запаса по формуле (1), а в очередь исходящих событий модели помещается событие  $E_2$ . Если все ожидающие заявки были обслужены и запас находился в состоянии отказа ( $T_{отк.} \geq 0$ ), то рассчитывается суммарное время восстановления запаса по формуле (5). Далее выполняется переход к п. 3.

$$T_B^{\Sigma} = T_B^{\Sigma} + (T_{E4} - T_{отк.}) \quad (5)$$

9. Если текущий уровень запаса достаточен для удовлетворения заявки на ЗЭ, то производится его уменьшение:

$$n = n - n_{зан.}, \quad (6)$$

где  $n_{зан.}$  – количество запрошенных в заявке ЗЭ.

Иначе заявка удовлетворяется частично и помещается в очередь ожидания обслуживания. Далее осуществляется переход к п. 3.

10. Производится расчет показателя достаточности (ПД) запаса.

Коэффициент готовности запаса

$$K_3 = 1 - \frac{T_B^{\Sigma}}{T_{эсп.}} \quad (7)$$

Среднее время задержки в удовлетворении заявки на ЗЭ

$$\Delta t_3 = \frac{T_{ож.}^{\Sigma}}{C3} \quad (8)$$

Рассмотренный алгоритм работы имитационной модели расчета запасов легко может быть адаптирован для стратегии периодического пополнения. В этом случае из алгоритма следует исключить экстренные доставки ЗЭ.

На основе данных, необходимых для вычисления ПД запасов, входящих в состав комплекта ЗИП, можно вычислить ПД всего комплекта ЗИП:

$$K_{ЗИП} = \prod_{i=1}^N K_{3i}, \quad (9)$$

где  $K_{3i}$  – коэффициент готовности запаса  $i$ -го типа;  $N$  – количество типов СЧ в комплекте ЗИП.

$$\Delta t_{ЗИП} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{ож.}^{\Sigma}}{\sum_{i=1}^N C3_i}, \quad (10)$$

где  $T_{ож.}^{\Sigma}$  – суммарное время, которое заявки на восстановление СЧ прождут из-за нехватки ЗЭ  $i$ -го типа;  $C3_i$  – количество заявок на ЗЭ, поступивших в запас  $i$ -го типа;  $N$  – количество типов СЧ в комплекте ЗИП.

Рассмотренный алгоритм реализован в программном комплексе «ZIP Progress». Данный комплекс позволяет выполнять расчет запасов, обеспечивающих заданный уровень ПД комплекта ЗИП при минимальных суммарных затратах на ЗЭ, а также расчет запасов, удовлетворяющих заданному ограничению по суммарным затратам на запасные элементы при максимально достижимом уровне показателя достаточности комплекта ЗИП. Расчёт может производиться с использованием всех применяемых на практике стратегий пополнения запасов [2, 4].

#### Библиографический список

1. Черкесов Г.Н. Оценка надежности систем с учетом ЗИП : учеб. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 480 с.
2. ГОСТ РВ 27.3.03-2005. Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП. – М.: Стандартиформ, 2005. – 37 с.
3. Жаднов В.В. Автоматизация проектирования запасов компонентов в комплектах ЗИП // Компоненты и технологии. – 2010. – №5. – С.173–176.
4. Григорьевская Т.Ю., Михайлова Е.М., Филиппов Р.Н., Фомин М.С. Программный комплекс ZIP Progress для расчета комплектов ЗИП // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании : сб. статей IV Международ. науч.-практ. конф. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2014. – С. 19–22.

**Григорьевская Татьяна Юрьевна**  
Тверской государственный  
технический университет,  
г. Тверь, Россия  
E-mail: [tatasuper@mail.ru](mailto:tatasuper@mail.ru)

**Grigoryevskaya Tatiana Yurievna**  
Tver State Technical University,  
Tver, Russia

**Михайлова Евгения Михайловна**  
Тверской государственный  
технический университет,  
г. Тверь, Россия  
E-mail: [mihasic69@gmail.com](mailto:mihasic69@gmail.com)

**Mikhailova Evgenia Mikhailovna**  
Tver State Technical University,  
Tver, Russia

**Филиппов Роман Николаевич**  
Тверской государственный  
технический университет,  
г. Тверь, Россия  
E-mail: [amonram@mail.ru](mailto:amonram@mail.ru)

**Filippov Roman Nikolaevich**  
Tver State Technical University,  
Tver, Russia

**Фомин Михаил Сергеевич**  
Тверской государственный  
технический университет,  
г. Тверь, Россия  
E-mail: [nuclear\\_mike@mail.ru](mailto:nuclear_mike@mail.ru)

**Fomin Mikhail Sergeevich**  
Tver State Technical University,  
Tver, Russia