

Автоматизация проектирования запасов компонентов в комплектах ЗИП: методы и средства

Валерий ЖАДНОВ,
к. т. н.
jadnov@mitme.ru

Любая аппаратура, как новая, так и старая, имеет свои экономические показатели. И их можно улучшить, если правильно определять ЗИП. При этом нет необходимости что-либо переделывать аппаратно. Достаточно под задаваемые к аппаратуре показатели правильно рассчитать ЗИП.

Экономические показатели определяются различными факторами, но для восстанавливаемых электронных средств (ЭС) среди этих факторов одним из наиболее важных является стоимость запасов компонентов в комплектах запасных частей, изделий и принадлежностей (ЗИП). В подтверждение этого положения можно привести следующую упрощенную формулу для оценки итоговой стоимости ЭС:

$$C = C_{ЭС} + C_{ЗИПн} + C_{НИП} \quad (1)$$

где C — итоговая стоимость ЭС; $C_{ЭС}$ — стоимость образца ЭС; $C_{ЗИПн}$ — стоимость «начального» запаса в комплекте ЗИП, который поставляется одновременно с образцом ЭС; $C_{НИП}$ — стоимость запасов, которые необходимы для пополнения комплекта ЗИП в процессе эксплуатации.

Если $C_{ЗИПн}$ зависит от требований по надежности к системе ЗИП (коэффициенту готовности — $K_{ГЗИП}$) по ГОСТ РВ 20.39.303 [1], характеристик надежности компонентов, параметров и стратегий пополнения запасов и структуры системы ЗИП [2] и по некоторым оценкам составляет порядка 30% от $C_{РЭА}$, то $C_{НИП}$ определяется уже и сроком службы ($T_{СС}$).

Если принять во внимание, что $T_{СС}$ также влияет на конкурентоспособность ЭС и требования к нему постоянно возрастают (например, срок службы электронного оборудования железнодорожных вагонов — не менее 40 лет), то величина $C_{НИП}$ может быть не только соизмерима, но и существенно превышать $C_{ЭС}$.

На первый взгляд простая формула (1) имеет очень большое значение, так как вскрывает коллизии интересов поставщика и заказчика. Даже если допустить, что о величине $C_{ЭС}$ достигнута договоренность, а значение $C_{НИП}$ может корректироваться по результатам эксплуатации ЭС, то в отношении $C_{ЗИПн}$ инте-

рессы сторон полностью противоположны: заказчик не хочет платить за «лишние» запасные части, а поставщик, имея налаженное производство, хочет поставить (продать) как можно больше продукции (в данном случае запасных частей).

Исходя из этого, можно предположить, что и по этой причине тоже методики оценки запасов в комплектах ЗИП стандартизованы в [2]. Методика оценки запасов в комплектах ЗИП, как и любая инженерная методика, включает в себя следующие этапы:

- анализ требований технического задания (ТЗ);
- постановку задачи;
- подготовку исходных данных;
- проведение расчета;
- анализ результатов и формулирование выводов и рекомендаций (при необходимости);
- проверку эффективности рекомендаций путем проведения повторных расчетов;
- оформление отчетной (конструкторской) документации.

Поскольку оценка запасов в комплектах ЗИП по методикам [2] «ручным» методом практически невозможна даже для одноуровневых систем ЗИП, то для автоматизации этих методик в нем рекомендовано применение пакета прикладных программ (ППП) «РОКЗЭРСИЗ», который и использовался для решения ряда примеров, приведенных в [2].

Точность оценки запасов в комплектах ЗИП с помощью этой программы (как и любой другой) определяется следующими факторами:

- погрешностью исходных данных;
- ограничениями, принятыми при разработке математических моделей;
- допущениями, принятыми при разработке методов расчета;
- погрешностью программной реализации методов;
- погрешностью вычислений.

Не останавливаясь на последних четырех факторах, рассмотрим только первый из них — погрешность исходных данных.

В соответствии с методиками [2] для оценки запасов в комплектах ЗИП необходимо заполнить формуляр (таблицу исходных данных). В один из столбцов этой таблицы нужно вписать «интенсивность замен» (λ_{zi}) компонентов.

Правда, что такое λ_{zi} , неизвестно, так как в ГОСТ 27.002 [3] такого термина не приведено. Впрочем, в [3] приведены только «основные» термины, поэтому разработчики ГОСТа [2] хотя и дали определение λ_{zi} , но при этом они, видимо, были уверены, что каждый инженер знает, что в основу методик положена методология теории систем массового обслуживания (СМО). Одним из параметров СМО является «входной поток заявок», который характеризуется параметром λ и который в контексте данной задачи должен интерпретироваться как «поток отказов», и т. д. и т. п. Или, по крайней мере, все должны быть досконально знакомы с РДВ 319.01.19 [4], в котором приведена следующая общая формула:

$$\lambda_{zi} = [K_{ИЭ} \times \lambda_{iP} + (1 - K_{ИЭ}) \times \lambda_{iОЖ}] \times (1 + \delta_{ОШ}) + (t_{ΣТО} / T_i) \times \lambda_{iТО} + (n_i / m_i) \times \lambda_{iX}, \quad (2)$$

где λ_{zi} — интенсивность замен составных частей (компонентов) i -го типа; $K_{ИЭ}$ — коэффициент интенсивности эксплуатации; λ_{iP} , $\lambda_{iОЖ}$, λ_{iX} — интенсивность отказов составных частей (компонентов) i -го типа в режимах работы, ожидания, хранения; $\delta_{ОШ}$ — доля ошибочных изъятий составных частей (компонентов) i -го типа (относительно общего потока их отказов), установленная по опыту эксплуатации изделий-аналогов (прототипов); $t_{ΣТО}$ — суммарное время нахождения изделия в режиме технического обслуживания за период T_i (например, $T_i = T_{СС}$); $\lambda_{iТО}$ — интенсивность профилактических замен при техническом обслуживании; m_i — общее ко-

личество составных частей (компонентов) i -го типа; n_i — начальный уровень запаса составных частей (компонентов) i -го типа.

Коэффициент интенсивности эксплуатации изделия ($K_{ИЭ}$) определяется по формуле из [4]:

$$K_{ИЭ} = t_{\Sigma P} / (t_{\Sigma P} + t_{\Sigma ОЖ}), \quad (3)$$

где $t_{\Sigma P}$, $t_{\Sigma ОЖ}$ — суммарные времена нахождения компонента в режимах работы и ожидания за период T_{CC} .

Правда, в этом случае становится непонятно, зачем выпускать ГОСТ, если есть действующий РДВ, между которыми все отличие практически заключается в отсутствии/наличии (2) и (3). Впрочем, объяснение этому будет приведено ниже.

То, что вывода модели (2) в [4] не приведено, вполне допустимо, так как там излагаются инженерные методики.

Впрочем, если в модели (2) принять, что: $K_{ИЭ} = 1$, $T_{ТО} = 0$, то есть электронный компонент постоянно находится в режиме работы (эксплуатации); $\delta_{ОИ} = 0$, то есть диагностирование неисправностей компонента 100% и высочайшая квалификация ремонтного персонала; $n_i = 0$, то есть начальный уровень запаса компонентов отсутствует, то нетрудно заметить, что $\lambda_3 = \lambda_{\Sigma}$ (эксплуатационной интенсивности отказов), которая определяется в соответствии с ОСТ 4Г 0.012.242 [5] по методикам справочника «Надежность ЭРИ» [6].

Однако в [4] не оговорена область применения (2), а из этого следует, что (2) можно применять во всех случаях, что вызывает большие сомнения.

Покажем это. Напомним, что по классификации видов продукции, приведенной в ГОСТ 22851 [7], как ЭС, так и электронные компоненты (ЭК) должны быть отнесены к продукции, расходующей свой ресурс.

Рассмотрим систему, в состав которой входит m_i ЭК i -го типа, находящихся в составе ЭС, и n_i ЭК, постоянно находящихся в ЗИП. Если в качестве критерия отказа такой системы принять отказ любого из ($m_i + n_i$) компонентов, то в соответствии с методикой, приведенной в [5] для расчета интенсивности отказов электронных модулей 1-го уровня (ЭМ1), и, принимая во внимание, что интенсивность отказов ЭК, находящихся в составе ЭМ1 и при хранении в составе ЗИП, одинакова ($\lambda_{iЭ1} = \lambda_{iЭ2} = \lambda_{iЭmi}$ и $\lambda_{iX1} = \lambda_{iX2} = \lambda_{iXni}$), можно записать, что:

$$\Lambda_i = \sum_{j=1}^{m_i} \lambda_{iЭj} + \sum_{k=1}^{n_i} \lambda_{iXk} = m_i \times \lambda_{iЭ} + n_i \times \lambda_{iX}, \quad (4)$$

где Λ — интенсивность отказов ЭМ1 из ($m+n$) компонентов; $\lambda_{iЭ}$ — эксплуатационная интенсивность отказов i -го компонента.

Тогда «эквивалентная» интенсивность отказов i -го компонента ЭМ1, состоящего из m_i однотипных ЭК, пребывающих перед установкой в ЭМ1 в составе ЗИП, будет равна:

$$\lambda_{3i} = \Lambda_i / m_i = \lambda_{iЭ} + (n_i / m_i) \times \lambda_{iX}. \quad (5)$$

Сравнивая последние слагаемые в (2) и (5), нетрудно заметить, что они совпадают.

Рассмотрим теперь первые два слагаемых в (2). Если абстрагироваться от введенного в [4] понятия «коэффициента интенсивности эксплуатации» (КИЭ), то есть подставить (3) в первое слагаемое (2), и, принимая во внимание, что $T_i = T_{CC} = t_{\Sigma P} + t_{\Sigma ОЖ} + t_{\Sigma ТО}$, получим, при $\delta_{ОИ} = 0$:

$$\frac{\lambda_{iP} \times t_{\Sigma P} + \lambda_{iОЖ} \times t_{\Sigma ОЖ}}{t_{\Sigma P} + t_{\Sigma ОЖ}} + \frac{\lambda_{iТО} \times t_{\Sigma ТО}}{t_{\Sigma P} + t_{\Sigma ОЖ} + t_{\Sigma ТО}}. \quad (6)$$

Нетрудно заметить, что (6) сильно напоминает часто применяемую на практике формулу для расчета так называемой «сеансной» интенсивности отказов (λ_{Ci}). В общем случае, когда компонент в составе ЭС может находиться в режиме работы, ожидания, технического обслуживания и хранения, λ_{Ci} рассчитывается по формуле (7), где $t_{\Sigma xp}$ — суммарное время нахождения компонента в режиме хранения в составе ЭС за период T_{CC} ; λ_{ixp} — интенсивность отказов компонента в режиме хранения в составе ЭС.

Попутно отметим, что в период $t_{\Sigma ТО}$ ЭС может находиться попеременно в каждом из трех режимов (работы, ожидания, хранения). Тогда получаем формулу (8).

Сравнивая (6) и (7), можно отметить следующее:

- Модель (2) не учитывает, что ЭС (и компонент в составе ЭС) может находиться в режиме «хранения».
- В знаменателе первого слагаемого в (6) потеряно $t_{\Sigma ТО}$. Впрочем, если $t_{\Sigma ТО} \ll (t_{\Sigma P} + t_{\Sigma ОЖ})$, то им, видимо, просто пренебрегли.
- $\lambda_{iТО}$ никакая не «интенсивность профилактических замен при техническом обслуживании», а обыкновенная интенсивность отказов в режиме ТО.
- Множитель $(1 + \delta_{ОИ})$ должен относиться ко всей модели (7), так как доля ошибочных изъятий составных частей (компонентов) i -го типа (относительно общего потока их отказов) устанавливается по опыту эксплуатации изделий-аналогов (прототипов). В общем случае эксплуатация ЭС подразумевает наличие всех четырех режимов (работы, ожидания, технического обслуживания и хранения).

С учетом этих замечаний модель (2) должна быть представлена как:

$$\lambda_{3i} = \lambda_{Ci} (1 + \delta_{ОИ}) + (n_i / m_i) \times \lambda_{iX}. \quad (9)$$

$$\lambda_{Ci} = \frac{\lambda_{iP} \times t_{\Sigma P} + \lambda_{iОЖ} \times t_{\Sigma ОЖ} + \lambda_{iТО} \times t_{\Sigma ТО} + \lambda_{ixp} \times t_{\Sigma xp}}{t_{\Sigma P} + t_{\Sigma ОЖ} + t_{\Sigma ТО} + t_{\Sigma xp}}, \quad (7)$$

$$\lambda_{iТО} = \frac{\lambda_{iP} \times t_{ТО\Sigma P} + \lambda_{iОЖ} \times t_{ТО\Sigma ОЖ} + \lambda_{ixp} \times t_{ТО\Sigma xp}}{t_{\Sigma ТО}}. \quad (8)$$

Разобравшись с моделью (2), необходимо вернуться к «интенсивности профилактических замен при техническом обслуживании», так как она играет важную роль при оценке нормы расхода запасных частей (НРЗЧ), а следовательно, определяет величину $C_{НИП}$.

Если под профилактическими заменами при техническом обслуживании понимается изъятие компонента из ЭС независимо от его состояния и замена его на новый (при условии, что n_i в комплекте ЗИП остается неизменным), то это должно приводить к уменьшению λ_{Ci} в (7).

В [6] хотя и приводятся значения коэффициентов замен K_{3i} (K_{3i} — среднестатистическая доля отказавших ЭРИ (компонентов) среди заменяемых в процессе поиска неисправностей и ремонта аппаратуры в условиях эксплуатации), но в методиках расчета λ они не используются. Однако в ранних редакциях [6] методики расчета λ с учетом K_{3i} были реализованы, как и в программе ИПРАСИИ (разработка МНИРТИ). Согласно этим методикам:

$$\lambda_{C3i} = \lambda_{Ci} / K_{3i} \quad (10)$$

где λ_{C3i} — интенсивность отказов компонента в изделии с учетом профилактических замен при техническом обслуживании.

Если же K_{3i} в расчетах λ не учитывался (что вполне вероятно, в соответствии с методиками [6]), то его величину можно оценить на основе соотношения:

$$K_{3i} = T_{CC} / T_{ПЗi} \quad (11)$$

где $T_{ПЗi}$ — интервал времени между профилактическими заменами i -го компонента.

При желании можно найти и интенсивность профилактических замен. В соответствии с определением [3] она равна:

$$\lambda_{ИПЗ} = K_{3i} / T_{CC} \quad (12)$$

Правда, непонятно, зачем она нужна. Прибавлять ее к «норме расхода» в единицу времени (на рис. 1) бессмысленно, так как на основе (11) сразу можно определить число запасных частей ($\Delta N_{НИП}$), которые нужно добавить в «неиссякаемый источник пополнения» (НИП) для обеспечения регламентированных профилактических замен:

$$\Delta N_{НИП} = m_i \times K_{3i}. \quad (13)$$

Поскольку с методикой оценки λ_{3i} в предположении (4), на наш взгляд, все более-менее понятно, следует рассмотреть вторую возможность функционирования компонентов в составе ЭС, а именно: каждый компонент в течение T_{CC} попеременно находится как в составе ЭС, так и в составе ЗИП.

№ пп	Наименование запаса	Количество в недели	Норма расхода	Стоимость элемента	ЗИП
1	СИ-152	4	0.006000	500.00	1
2	ВС-560	5	0.042000	15000.00	1
3	ВС-561	11	0.099000	15000.00	1
4	ВС-323	1	0.018000	13000.00	1
5	ВС-559	2	0.085200	12000.00	1
6	ВС-585	1	0.030000	20000.00	1
7	ТЭЭ-000-01	4	0.007200	12000.00	0
8	ТЭЭ-000-02	12	0.028800	16000.00	1
9	ТЭЭ-000-03	8	0.016800	12000.00	1
10	ТЭЭ-000-04	5	0.009000	10000.00	1
11	ТЭЭ-000-05	3	0.007200	10000.00	1
12	ТЭЭ-000-06	4	0.014400	20000.00	1
13	ТЭЭ-000-07	2	0.010800	15000.00	1
14	ТЭЭ-000-08	12	0.043200	23000.00	1
15	ТЭЭ-000-09	11	0.049500	22000.00	1
16	ТЭЭ-000-10	3	0.016200	20000.00	1
17	ТЭЭ-000-11	12	0.064800	22000.00	1
18	ТЭЭ-000-12	2	0.014400	23000.00	1
19	Реле РЭС-49	140	112.000000	13000.00	112
20	Субблок ФА-1	10	14.400000	25000.00	14
21	Субблок ФА-2	2	2.880000	25000.00	2
22	Субблок ФР-1	18	25.920000	25000.00	25
23	Субблок ФР-2	18	25.920000	25000.00	25
24	Дiode Д311А	250	10.000000	1000.00	18
25	Конденсатор К50-3А	12	0.172800	250.00	3
26	Конденсатор КЭБ-Н90	492	5.904000	500.00	13
27	Резистор СМЛТ-0,125-820 Ом	95	0.532000	100.00	4
28	Резистор СМЛТ-0,125-1,1 кОм	212	1.187200	100.00	6
29	Резистор СМЛТ-0,25-680 Ом	37	0.207200	100.00	3
30	Резистор СМЛТ-2,0-230 Ом	34	0.190400	200.00	3
Итого					
ПД= 00057200		Затраты = 3395650			ЗИП = 245

Рис. 1. Результаты решения «прямой задачи оптимизации» запасов в комплекте ЗИП-О изделия «Памир-1»

Приведем простой пример. Радиостанция работает от 4 химических источников тока (аккумуляторов). К ней придан комплект ЗИП-О, в котором находится 1 аккумулятор. Очевидно, что если этот (резервный) аккумулятор не использовать, а ждать, пока какой-то из основных откажет, то в этом случае суммарная наработка радиостанции будет меньше, чем в том случае, если бы осуществлялась периодическая «ротация» аккумуляторов в системе «радиостанция» — «ЗИП-О».

При такой стратегии «профилактических замен» модель (4) неприемима. Здесь более уместна аналогия с «сеансным» режимом работы, в которой вместо времени должны использоваться количества компонентов.

Действительно, так как одним из показателей достаточности систем ЗИП является стационарный коэффициент готовности, который определяется для какого-то «бесконечно удаленного момента времени», то можно предположить, что к этому моменту *i*-й компонент бесконечное число раз успеет побывать как в составе ЭС, так и в составе ЗИП, тогда:

$$\lambda_{zi} = (\lambda_{Czi} \times m_i + \lambda_{ix} \times n_i) / (m_i + n_i) = (\lambda_{Czi} \times m_i) / (m_i + n_i) + (\lambda_{ix} \times n_i) / (m_i + n_i). \quad (14)$$

Таким образом, в зависимости от стратегии профилактических замен для расчета λ_{zi} следует использовать не только модель (9), но и модель (14).

Сравним модели (2), (9) и (14) на примере субблока ФА-1 (рис. 1).

Так как в [2] приведены только значения $t_{\Sigma P} = 8000$ ч, $m_i = 10$, $\lambda_{zi} = 180 \times 10^{-6}$ ч⁻¹ и (рис. 1) $n_i = 14$, то для получения сопоставимых результатов проведем идентификацию параметров модели (2) при следующих допущениях: $\lambda_{iOЖ} = \lambda_{iTO} = 0,5 \times \lambda_{iP}$; $\lambda_{iXP} = \lambda_{iX} = 0,1 \times \lambda_{iP}$; $t_{\Sigma OЖ} = 472$ ч; $t_{\Sigma TO} = 288$ ч; $\delta_{OЖ} = 0,1$; $T_i = T_{CC} = 8760$ ч.

Полученные в результате идентификации значения составили: $\lambda_{iP} = 1,47 \times 10^{-4}$ ч⁻¹, $\lambda_{iOЖ} = \lambda_{iTO} = 7,35 \times 10^{-5}$ ч⁻¹ и $\lambda_{iXP} = \lambda_{iX} = 1,47 \times 10^{-5}$ ч⁻¹.

При этих значениях параметров по модели (2) $\lambda_{zi} \approx 180 \times 10^{-6}$ ч⁻¹, по модели (9) $\lambda_{zi} \approx 175 \times 10^{-6}$ ч⁻¹, а по модели (14) $\lambda_{zi} \approx 73 \times 10^{-6}$ ч⁻¹ (при $t_{\Sigma XP} = 0$ ч и $K_{zi} = 1$). Если результаты модели (9) отличаются от (2) на величину 5×10^{-6} ч⁻¹, то полученные по модели (14) более чем в 2,4 раза ниже.

К сожалению, проблемы с исходными данными на этом не ограничиваются, так как в [2] и [4] приведены не только методики расчета показателей достаточности, но и методики оптимизации запасов в комплектах ЗИП.

Проблема здесь в следующем: при оптимизации в качестве исходных данных используются те же λ_{zi} (при этом $n_i = 0$), а результатом оптимизации является значение n_i . В этом случае методики решения

«прямой» и «обратной» задач оптимизации в «чистом виде» не приемимы, а достоверность «оптимальных» запасов в комплектах ЗИП, рассчитанных по методикам [2] и [4], является весьма сомнительной, так как исходя из (2), (9) и (14) λ_{zi} зависит от n_i .

Покажем это на простейшем примере. В [2] приведен листинг программы с результатами решения «прямой задачи оптимизации», показанный на рис. 1.

Для субблока ФА-1 $m_i = 10$ шт. (рис. 1, поз. 20), полученное в результате оптимизации значение начального уровня запаса (n_i) равно 14 шт. В [6] приведены методики расчета не только λ_{iP} но и λ_{iX} , λ_{iXP} в соответствии с которыми λ_{iX} , λ_{iXP} всегда положительны и больше 0. А из этого следует, что, например, для модели (2) и (9) реальная λ_{zi} должна быть меньше заданной в исходных данных ($\lambda_{zi} = 180 \times 10^{-6}$ ч⁻¹) на величину:

$$\lambda_{zi} = (n_i / m_i) \times \lambda_{iX} = (14 / 10) \times 1,47 \times 10^{-5} = 20,58 \times 10^{-6}, \quad (15)$$

а для модели (14):

$$\lambda_{zi} = (n_i / (m_i + n_i)) \times \lambda_{iX} = (14 / (10 + 14)) \times 1,47 \times 10^{-5} = 6,174 \times 10^{-6}. \quad (16)$$

То есть методики [2] применимы лишь при условии, что λ_{iX} в составе ЗИП должна быть равна 0.

Если вернуться к стоимости ЗИП, то, исходя из (15) и (16), можно сделать вывод о том, что методики оптимизации [2, 4] «играют» на стороне заказчика, так как дают заниженный уровень n_i .

Повысить точность оценки n_i можно, но достаточно трудоемко. Для этого необходимо «вручную» пересчитать λ_{zi} для всех компонентов и для этих значений провести расчет коэффициента готовности системы ЗИП. Очевидно, что он будет ниже полученного при решении задачи оптимизации, а величина того, насколько он будет отличаться от заданного, зависит от значений $\Delta\lambda_{zi}$ рассчитанных по (15) или (16). Если же расчетное значение $K_{ГЗип}$ окажется ниже требуемого, то эти итерации (оптимизацию, перерасчет λ_{zi} и расчет $K_{ГЗип}$) необходимо повторять до тех пор, пока не будет достигнуто (превышено) требуемое значение $K_{ГЗип}$.

Следует отметить, что в этом случае может возникнуть проблема «сходимости» итераций, так как увеличение n_i на каждом шаге оптимизации ($n_{i,k+1} = n_{i,k} + 1$), с одной стороны, приводит к повышению $K_{ГЗип}$, а с другой стороны — к увеличению λ_{zi} и, следовательно, к одновременному снижению $K_{ГЗип}$.

Почему до сих пор не обращали на это внимание, не ясно. Впрочем, можно предположить, что это обусловлено еще одним источником погрешности расчетов, а именно программной реализацией методов оптимизации в ППП «РОКЗЭРСИЗ» [2].

На рис. 2 приведено окно системы АСОНИКА-К-ЗИП [8] программного комплекса АСОНИКА-К [9] (разработка МИЭМ и ООО «СИНЦ»), содержащее решение той же задачи, результаты которой приведены на рис. 1.

Как видно на рис. 2, $K_{ГЗип} \approx 0,951$ (против 0,957 на рис. 1), то есть ППП «РОКЗЭРСИЗ» [2] обеспечивает более высокий коэффициент готовности комплекта ЗИП-О. Однако такое «увеличение» $K_{ГЗип}$ по сравнению с заданным уровнем ($K_{ГЗип} = 0,95$), приводит к тому, что суммарные затраты на $C_{ЗИПn}$ составляют 3395650,0 (против 1189950,0 на рис. 2), то есть более чем в 2,8 раза выше!

Для того чтобы снять сомнения в вышеприведенных данных, в таблице приведены результаты расчетов и оптимизации системы АСОНИКА-К-ЗИП [8] и ППП «РОКЗЭРСИЗ» [2].

Судя по данным таблицы, результаты оптимизации и расчетов в системе АСОНИКА-К-ЗИП практически совпадают.

В принципе, этим можно ограничить перечисление основных причин, определяющих достоверность автоматизированной технологии проектирования запасов компонентов в комплектах ЗИП, регламентированной [2, 4].

Приведенные результаты лишней раз подтверждают известный тезис о том, что «лучшее — враг хорошего». В данном случае желание учесть дополнительные факторы, помимо интенсивности отказов компонен-

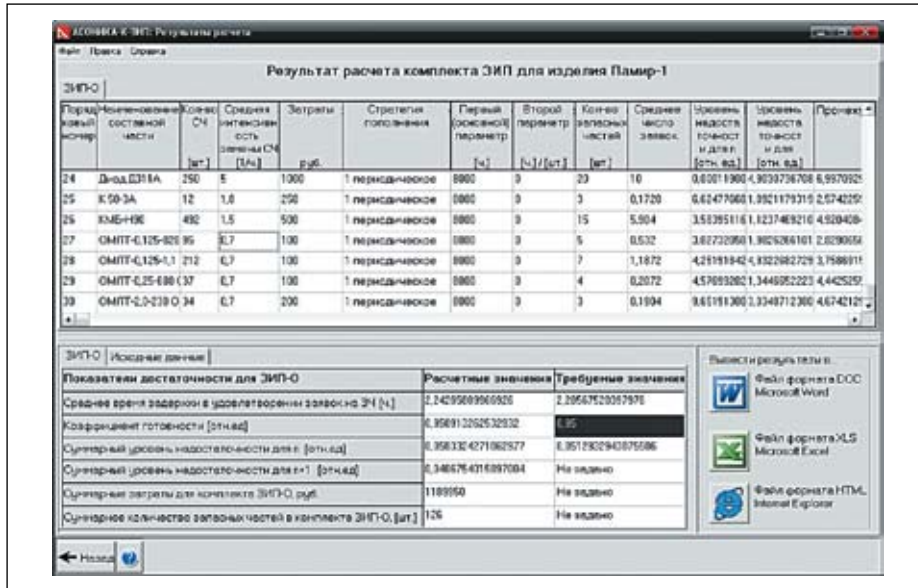


Рис. 2. АСОНИКА-К-ЗИП: результаты решения «прямой задачи оптимизации» запасов в комплекте ЗИП-О изделия «Памир-1»

значения $n_i = 1 [2, 4]$, то в новой версии это «автоматизировано». Попутно заметим, что логичней было бы ввести более общее ограничение вида $n_i \leq n_{i\text{доп}}$

Впрочем, есть и другой путь, связанный с модификацией методик оптимизации запасов комплектов ЗИП, основанных на перерасчетах значений λ_{zi} на каждом шаге оптимизации по моделям (9) и (14). Правда, для этого необходимо, чтобы эти модели были «указанными».

Что же касается увеличения объема исходной информации, то использование ИПИ (CALS)-технологий позволяет разрешить эту проблему путем электронного обмена данными. Такая возможность реализована в системе АСОНИКА-К-ЗИП [8]. На рис. 3 приведено окно конвертора, позволяющего импортировать данные из проектной части базы данных системы АСОНИКА-К-СЧ [9], необходимые для расчета λ_{zi} по модели (2).

В заключение отметим, что здесь рассмотрена только одна небольшая часть проблемы технологии автоматизированного проектирования систем ЗИП — достоверность исходных данных. На самом деле эта проблема значительно шире, так как в большей степени связана с несовершенством математических методов, положенных в основу методик [2] и [4] и реализованных в программных средствах. Выходом в решении указанной проблемы является переход от аналитических методов с присущими им ограничениями к методам, основанным на системном подходе и имитационном моделировании системы «Изделие – система ЗИП», тем более что работы в этой области в ряде вузов и научных организаций России уже проводятся.

Литература

1. ГОСТ РВ 20.39.303-98. Комплексная система общих технических требований. Требования к надежности. Состав и порядок задания.
2. ГОСТ РВ 27.1.03-2005. Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
4. РДВ 319.01.19-98. Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методики оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП.
5. ОСТ 4Г 0.012.242-84. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета показателей надежности.
6. Надежность электрорадиоизделий. Справочник. М.: МО РФ, 2006.
7. ГОСТ 22851-77. Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции.
8. 07.СИНЦ.00003-01. Система расчета комплектов запасных частей, изделий и принадлежностей АСОНИКА-К-ЗИП. Спецификация.
9. Стрганов А., Жаднов В., Полесский С. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем // Компоненты и технологии. 2007. № 5.

Таблица. Результаты расчета и оптимизации комплекта ЗИП-О изделия «Памир-1»

Характеристики ЗИП-О	ППП «РОКЗЭРСИЗ»		Система АСОНИКА-К-ЗИП	
	Прямая задача оптимизации	Расчет показателей достаточности	Прямая задача оптимизации	Расчет показателей достаточности
$K_{\text{ЗИП}}$	0,957	0,957	0,951	0,951
$C_{\text{ЗИП}}$	3395650	3348850	1189950	1189950
Σn_i	245	245	126	126

Примечание. При расчетах показателей достаточности в качестве начального уровня запасов компонентов (n_i) принимались значения, полученные при решении прямой задачи оптимизации.

тов, и переход от нее к «интенсивности замен» не только не повысили достоверность оценки запасов в комплектах ЗИП, а наоборот, чрезвычайно затруднили и запутали решение, на первый взгляд, простой инженерной задачи.

Поэтому, исходя из того, что нормативные материалы действуют, программы используются, может быть, стоит забыть про модель (2) до лучших времен, как это сделали в [2], а в [4] под обозначением λ_{zi} понимать простую и понятную всем эксплуатационную интенсивность отказов компонентов λ . Правда, в этом случае придется признать тот факт, что методики оптимизации [2, 4] являются грубо приближенными и могут использоваться в лучшем случае лишь для получения ориентировочных значений характеристик систем ЗИП.

Однако в новой версии ППП «РОКЗЭРСИЗ», разработанной сотрудниками 22 ЦНИИ МО РФ, к сожалению, реализованы те же методы, что и в [2, 4], за исключением, может быть, того, что при решении задач оптимизации можно ввести ограничение на n_i ($n_i \neq 0$). То есть если в ППП «РОКЗЭРСИЗ» при оптимизации n_i принимало значение, равное 0 (рис. 1, поз. 7), и в этом случае требовался повторный расчет показателей достаточности, в котором для всех $n_i = 0$ «вручную» задавались новые

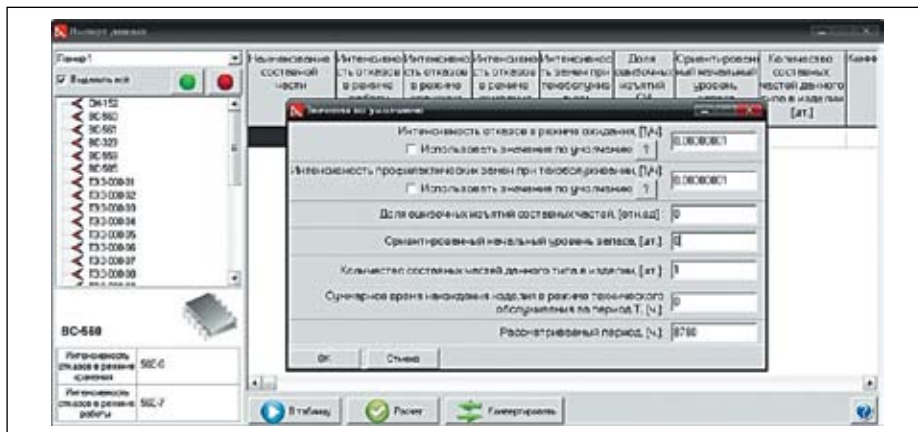


Рис. 3. Конвертор: окно расчета интенсивности замен