

# Электронная компонентная база космических систем

## Эволюция методов комплектации КА ЭКБ

Создание спецпартий -  
путь повышения надежности  
электронной компонентной базы  
космического применения

К.т.н., директор АО «ИТЦ – НПО ПМ» Орлов В.И.

# Актуальность

- Сроки активного существования (САС) космических аппаратов (КА) неуклонно увеличиваются. Современные КА должны обеспечивать бесперебойное выполнение своих задач в течение 10-15 лет.
- Бортовая аппаратура КА в космическом пространстве не подлежит ремонту, каждый КА содержит от 100 до 200 тысяч электронных компонентов.
- К надежности электронной компонентной базы (ЭКБ) космического применения предъявляются исключительно высокие требования.
- Совершенствование методологий повышения надежности ЭКБ имеет первостепенное значение для дальнейшего развития космической отрасли.





## Краткая история вопроса (1)

---

В 70-х годах возникла необходимость решения проблем увеличения САС КА за счет повышения надежности ЭКБ космического применения

Решение ВПК по увеличению САС КА «Молния-3» и «Радуга» от 1975 г. потребовало увеличения минимальной наработки (ресурса) ЭКБ до 33000 часов (по ТУ - 5000-10000 тыс. часов). Аналогичная работа по увеличению ресурса ЭКБ проводилась в рамках реализации «Олимпийского заказа» - создания КА «Горизонт» с 3-летним САС для трансляции соревнований с Московской Олимпиады.

Проведенные в 1970-1980-х годах работы по обеспечению ресурса ЭКБ способствовали обеспечению требуемых САС КА 3-5 лет, однако наработанный алгоритм проведения работ по увеличению ресурса ЭКБ исчерпал себя, как это стало ясно в начале 1990-х годов, и не позволял обеспечить САС 7-10 лет для перспективных КА, особенно в негерметичном исполнении.



## Краткая история вопроса (2)

---

В 1981 году в НПО ПМ начались работы по развитию входного контроля ЭКБ, разработке и внедрению автоматизированной системы входного диагностического прогнозирующего контроля ЭКБ.

В 1996 - 1998 годах в рамках международного проекта TACIS TELRUS 9503 проводились работы по гармонизации требований Российских и западноевропейских стандартов и созданию в России двух Центров по сертификации ЭКБ для космического применения.

Проектирование и создание КА SESAT (по заказу EUTELSAT) (1996-1999 гг.) в НПО ПМ стали определяющим этапом становления методологии комплектования аппаратуры КА ЭКБ, прошедших в ИТЦ дополнительные испытания, включая проведение РФА. Успешная безаварийная работа КА SESAT в течение 17 лет подтвердила правильность принятых решений. Отработанная при создании КА SESAT методология комплектования аппаратуры КА с САС 7-10 и более лет ЭКБ, прошедшими дополнительные испытания в ИТЦ, была принята за основу в космической отрасли РФ.



# Испытательные технические центры

---

В США, Японии, Китае и странах Европейского Союза организовано специализированное производство электронных компонентов для космической отрасли.

Объем потребления ЭКБ, используемой в России для производства КА, составляет не более 2% от общего объема производства этих изделий и заводы-изготовители ЭКБ не заинтересованы в выпуске ЭКБ для космоса.

В настоящее время задачу комплектования ЭКБ аппаратуры Российских КА с длительными САС вынуждены решать, в основном, предприятия космической отрасли. Это привело к созданию ИТЦ, специализирующихся на поставке ЭКБ для космического применения.

Функция ИТЦ состоит в том, чтобы из партий ЭКБ общего военного (неспециализированного) применения категорий качества «ВП» и «ОС» («ОСМ») отобрать нужное количество элементов ЭКБ, удовлетворяющих жестким требованиям космической отрасли. Естественно, количество испытываемой ЭКБ заведомо больше, чем необходимо для установки в аппаратуру КА.



# Необходимость применения нового подхода к отбраковке ЭКБ

- К установке в аппаратуру КА допускаются только те партии ЭКБ, которые прошли все ДООИ в ИТЦ с положительными результатами.
- В настоящее время идет постоянное совершенствование технологического процесса тестирования ЭКБ с учетом последних достижений в методологии испытаний и разработки испытательного оборудования.
- В АО «ИТЦ – НПО ПМ» проводятся работы по внедрению методик сортировки ЭКБ в технологический процесс отбраковки, сортировка в однородные группы выполняется по результатам испытаний ЭКБ. Это позволит рационально формировать тестовые выборки для проведения РФА и испытаний на радиационную стойкость и распространять результаты не на всю партию ЭКБ, а только на сформированные однородные группы.
- Активно совершенствуются методики и оборудование для контроля влаги в подкорпусном пространстве ЭКБ.
- Опыт работы АО «ИТЦ – НПО ПМ» показал, что не всегда удается выбрать электронные компоненты, удовлетворяющие жестким требованиям космической отрасли. Подход, основанный на стратегии отбраковки ЭКБ из серийной продукции заводов-изготовителей, достиг своих пределов. Задача комплектации КА высоконадежной ЭКБ может быть решена только путем выполнения дополнительных технологических и организационных мероприятий со стороны производителей ЭКБ.



# Методология создания спецпартий

---

В начале 2000-х годов в АО «ИТЦ – НПО ПМ» был сформирован новый подход по изготовлению и поставке партий ЭКБ для космического применения, являющихся продукцией совместной деятельности заводов-изготовителей и АО «ИТЦ – НПО ПМ». Для обозначения таких партий ЭКБ был введен специальный термин – «спецпартия».

Задачи, решаемые при производстве спецпартии:

- Реализация дополнительных требований к технологическому процессу изготовления партий ЭКБ (100%-ый (не выборочный) контроль при проведении операций, измерение параметров по ужесточенным нормам, ужесточенный контроль качества применяемых материалов и др.);
- Проведение в ИТЦ тех видов операций, которые не выполняет завод-изготовитель (контроль наличия посторонних частиц в подкорпусном пространстве, РФА, расчет дрейфа параметров и др.);
- Проведение РФА каждой партии ЭКБ для оценки технологических дефектов, которые, как правило, не выявляются на этапе ДООИ.



## Результаты работы АО «ИТЦ-НПО ПМ» по выпуску спецпартий

---

- Порядок изготовления и поставки спецпартий ЭКБ организационно оформляется путем выпуска «Решений о порядке изготовления и поставке спецпартий» для каждого завода-изготовителя ЭКБ, с учетом выпускаемой номенклатуры ЭКБ и особенностей ее производства.
- Первое «Решение о порядке изготовления и поставки спецпартий» было подписано в 2005 г. между АО «ИТЦ – НПО ПМ» и АО «Светлана-полупроводники». К настоящему времени поставки спецпартий ЭКБ осуществляются по 46 подобным «Решениям», оформленным с 29 заводами-изготовителями (включая такие предприятия, как АО «Восход»-КРЛЗ, АО «Экситон», АО «НЗПП с ОКБ», ОАО «ВЗРД «Монолит», АО «НПП «Восток» и др.).
- АО «ИТЦ – НПО ПМ» осуществляет поставки спецпартий ЭКБ не только для АО «ИСС» и предприятий его кооперации, но и для предприятий других головных разработчиков КА (АО «РКЦ «Прогресс» и др.).





## Преимущества заказчика при поставке спецпартий

- При поставке спецпартий заказчик получает ТОЛЬКО годную ЭКБ (без потенциально ненадежных элементов) и не ведет рекламационную работу с заводами-изготовителями!
- Комплектация аппаратуры КА спецпартиями ЭКБ повышенного уровня качества, наряду с контролируемой централизованной закупкой ЭКБ, позволяет заказчику:
  - обеспечить комплектацию всей аппаратуры КА ЭКБ с повышенным уровнем качества и надежности;
  - упростить, по согласованию с головным разработчиком КА, систему финансирования централизованных закупок ЭКБ;
  - минимизировать количество закупаемых партий ЭКБ;
  - решить вопросы по рекламационной работе и сократить количество потенциально ненадежных ЭКБ;
  - снизить в целом затраты на закупку ЭКБ;
  - реализовать единую техническую политику по определению объемов испытаний, правильности выбора ЭКБ и прогнозированию работоспособности ЭКБ в рамках всего КА.



## Заключение

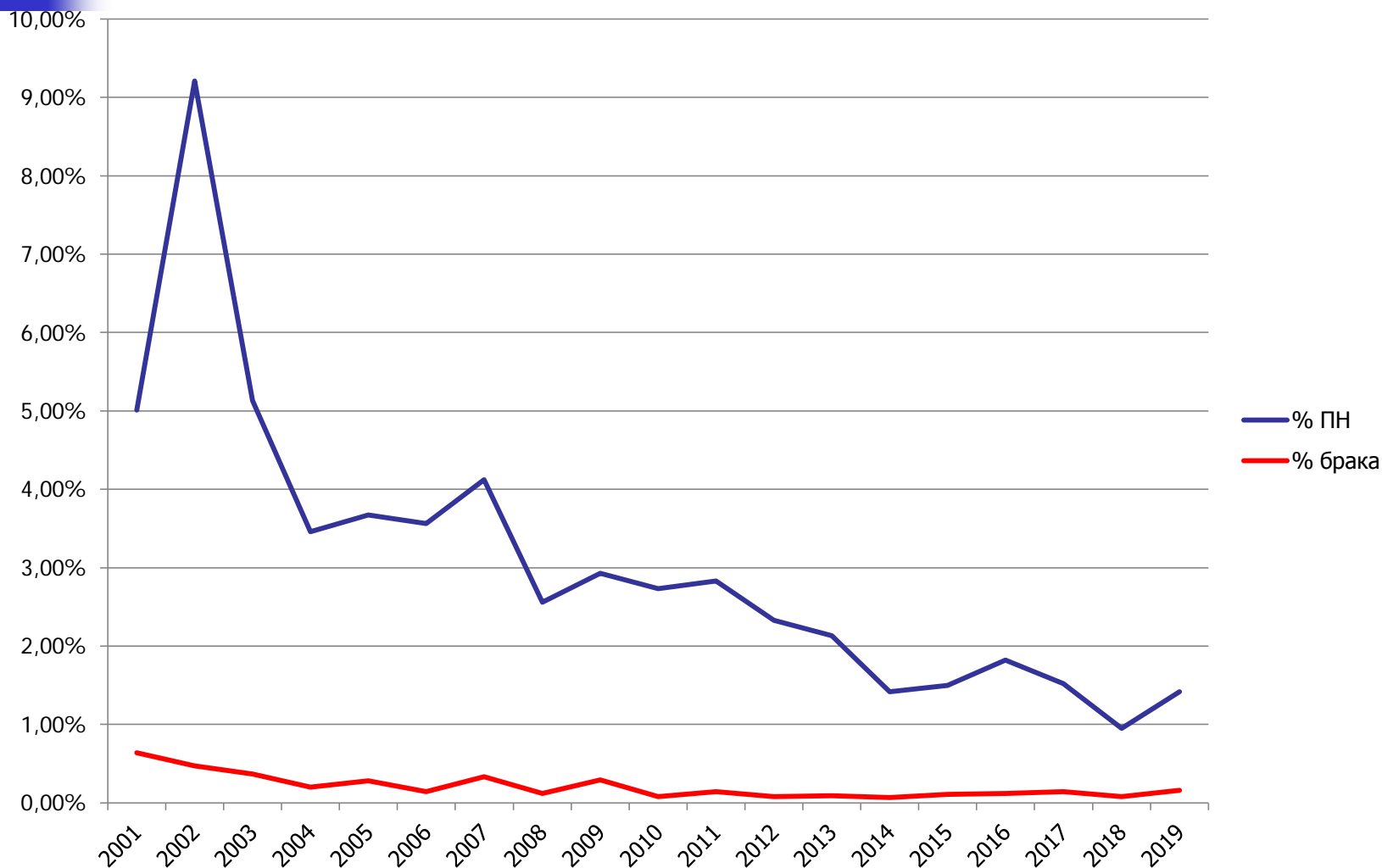
---

- Комплектация бортовых электронных систем КА высоконадежной ЭКБ согласно требованиям космической отрасли невозможна без серьезного изменения технологического процесса изготовления ЭКБ. Необходимость значительных вложений для разработки отдельного технологического процесса по изготовлению электронной компонентной базы делает выпуск малых партий ЭКБ высокого уровня качества и надежности для космической отрасли невыгодным или невозможным.
- Учитывая отсутствие специализированного производства высоконадежной ЭКБ в РФ, комплектация аппаратуры КА высоконадежной ЭКБ в настоящее время возможна только через ИТЦ, который выступает в качестве связующего звена между заводами-изготовителями ЭКБ и ее потребителями.
- Дальнейшее повышение надежности ЭКБ космического применения возможно путем организации поставок спецпартий ЭКБ, являющихся продукцией совместной деятельности заводов-изготовителей и ИТЦ, а также путем совершенствования технологического процесса тестирования ЭКБ, например, внедрения в технологический процесс методик отбора по результатам испытаний сортировки ЭКБ в однородные группы.

# Результаты ОИ ЭКБ, проведенных в АО «ИТЦ-НПО ПМ» в 2001-2019 гг.

Год	Испытано (шт.)	Годные (шт.)	Брак (шт.)	% брака	ПН (шт.)	% ПН
2001	97 862	92 329	630	0,64%	4 903	5,01%
2002	269 384	243 300	1 274	0,47%	24 810	9,21%
2003	238 963	225 832	881	0,37%	12 250	5,13%
2004	218 019	210 033	439	0,20%	7 547	3,46%
2005	239 458	229 977	682	0,28%	8 799	3,67%
2006	268 767	258 822	367	0,14%	9 578	3,56%
2007	287 840	275 052	939	0,33%	11 849	4,12%
2008	437 697	425 981	511	0,12%	11 205	2,56%
2009	463 751	448 815	1 363	0,29%	13 573	2,93%
2010	646 883	628 746	490	0,08%	17 647	2,73%
2011	747 280	725 116	1 025	0,14%	21 139	2,83%
2012	431 575	421 172	356	0,08%	10 047	2,33%
2013	281 608	275 348	256	0,09%	6 004	2,13%
2014	250 517	246 784	186	0,07%	3 547	1,42%
2015	291 611	286 906	330	0,11%	4 375	1,50%
2016	237 735	233 112	290	0,12%	4 333	1,82%
2017	535 252	526 345	757	0,14%	8 150	1,52%
2018	410 193	405 956	335	0,08%	3 902	0,95%
2019	356 972	351 339	572	0,16%	5 061	1,42%

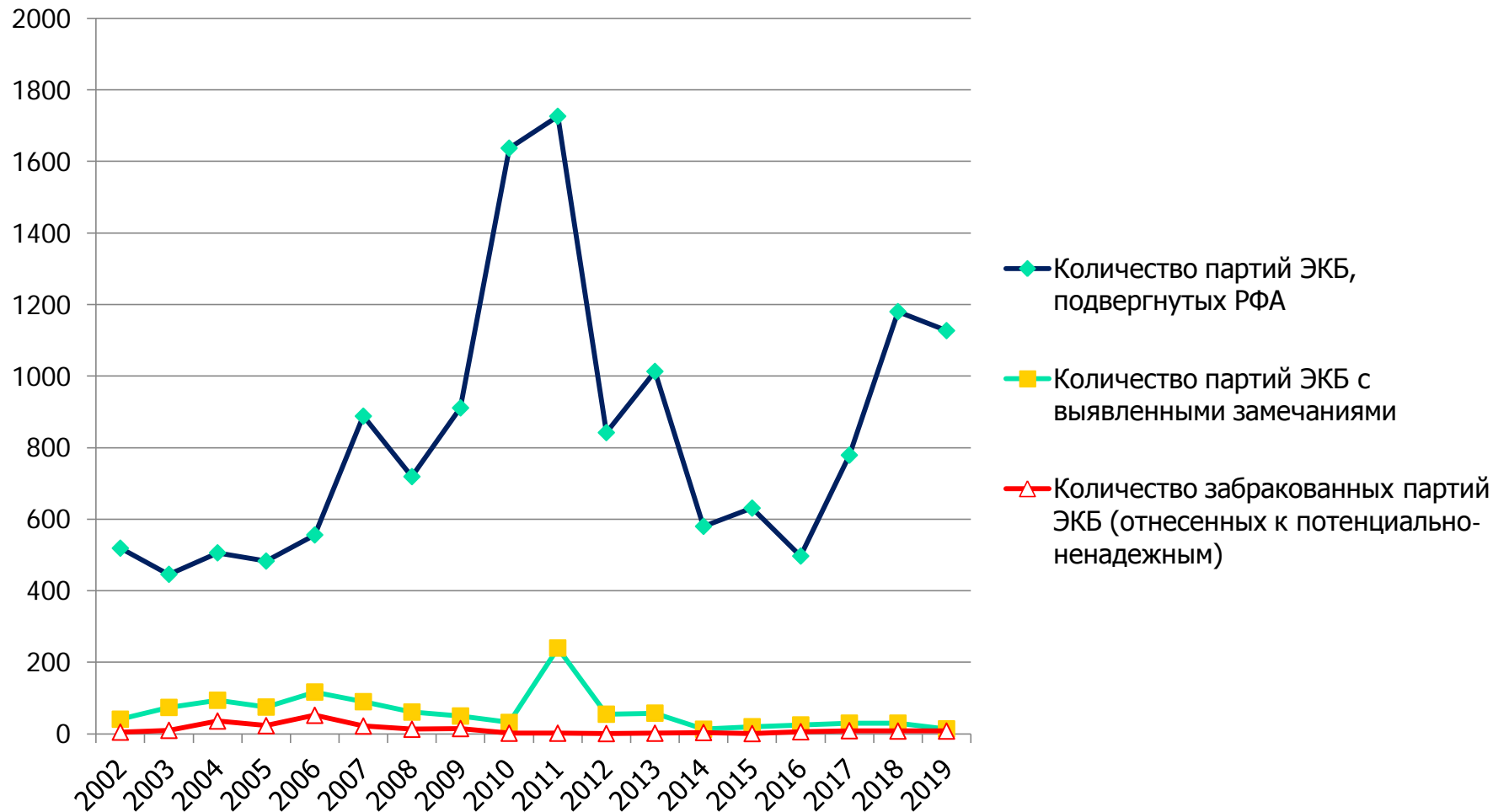
# Процент брака и п/н по результатам ОИ ЭКБ, проведенных в АО «ИТЦ-НПО ПМ» в 2001-2019 гг.

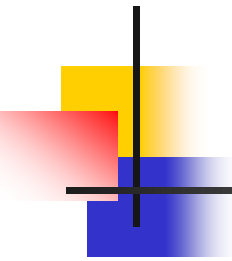


# Результаты РФА ЭКБ, проведенного в АО «ИТЦ-НПО ПМ» в 2002-2019 гг.

Год проведения РФА	Количество партий ЭКБ, подвергнутых РФА	Количество партий ЭКБ с выявленными замечаниями		Количество забракованных партий ЭКБ (отнесенных к потенциально-ненадежным)	
		(штук)	(%)	(штук)	(%)
2002	519	41	7,90%	5	0,96%
2003	446	74	16,59%	10	2,24%
2004	506	94	18,58%	36	7,11%
2005	483	75	15,53%	23	4,76%
2006	556	117	21,04%	52	9,35%
2007	888	90	10,14%	22	2,48%
2008	719	61	8,48%	13	1,81%
2009	911	50	5,49%	15	1,65%
2010	1 637	32	1,95%	2	0,12%
2011	1 726	240	13,90%	2	0,12%
2012	842	55	6,53%	1	0,12%
2013	1 013	58	5,73%	2	0,20%
2014	580	13	2,24%	4	0,69%
2015	631	20	3,17%	1	0,16%
2016	497	25	5,03%	6	1,21%
2017	779	30	3,85%	9	1,16%
2018	1 180	30	2,54%	8	0,68%
2019	1 127	14	1,24%	8	0,71%

# Сводные результаты РФА ЭКБ, проведенного в АО «ИТЦ-НПО ПМ» в 2002-2019 гг.





# Примеры дефектов, обнаруживаемых при проведении ДОИ в АО «ИТЦ-НПО ПМ» (1)

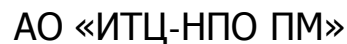
---

При проведении электротермотренировки в АО «ИТЦ-НПО ПМ» при задании напряжения гальванической развязки у некоторых микросборок серии 249КП наблюдается уменьшение чувствительности фотоприемника, что приводит к отсутствию включения выходного каскада при заданном в ТУ входном токе.

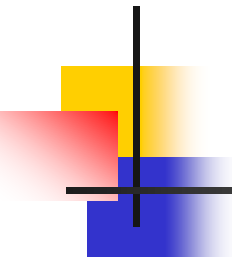
При увеличении входного тока в пределах предельно допустимых режимов наблюдается нормальное функционирование микросборок.

При хранении микросборок после ЭТТ в нормальных условиях в течение времени от нескольких дней до нескольких недель происходит восстановление их работоспособности.

При повышенной температуре среды время восстановления сокращается в десятки и сотни раз.







## Примеры дефектов, обнаруживаемых при проведении ДОИ в АО «ИТЦ-НПО ПМ» (2)

Оптопары транзисторные ЗОТ122А-Г аА0.339.200ТУ предназначены для бесконтактной коммутации цепей постоянного тока с гальванической развязкой между входом и выходом.

Предельно допустимые режимы эксплуатации оптопар ЗОТ122А-Г в диапазоне рабочих температур указано напряжение между входом и выходом при эксплуатации: «...Максимальное напряжение изоляции 100 В для всего диапазона рабочих температур.»

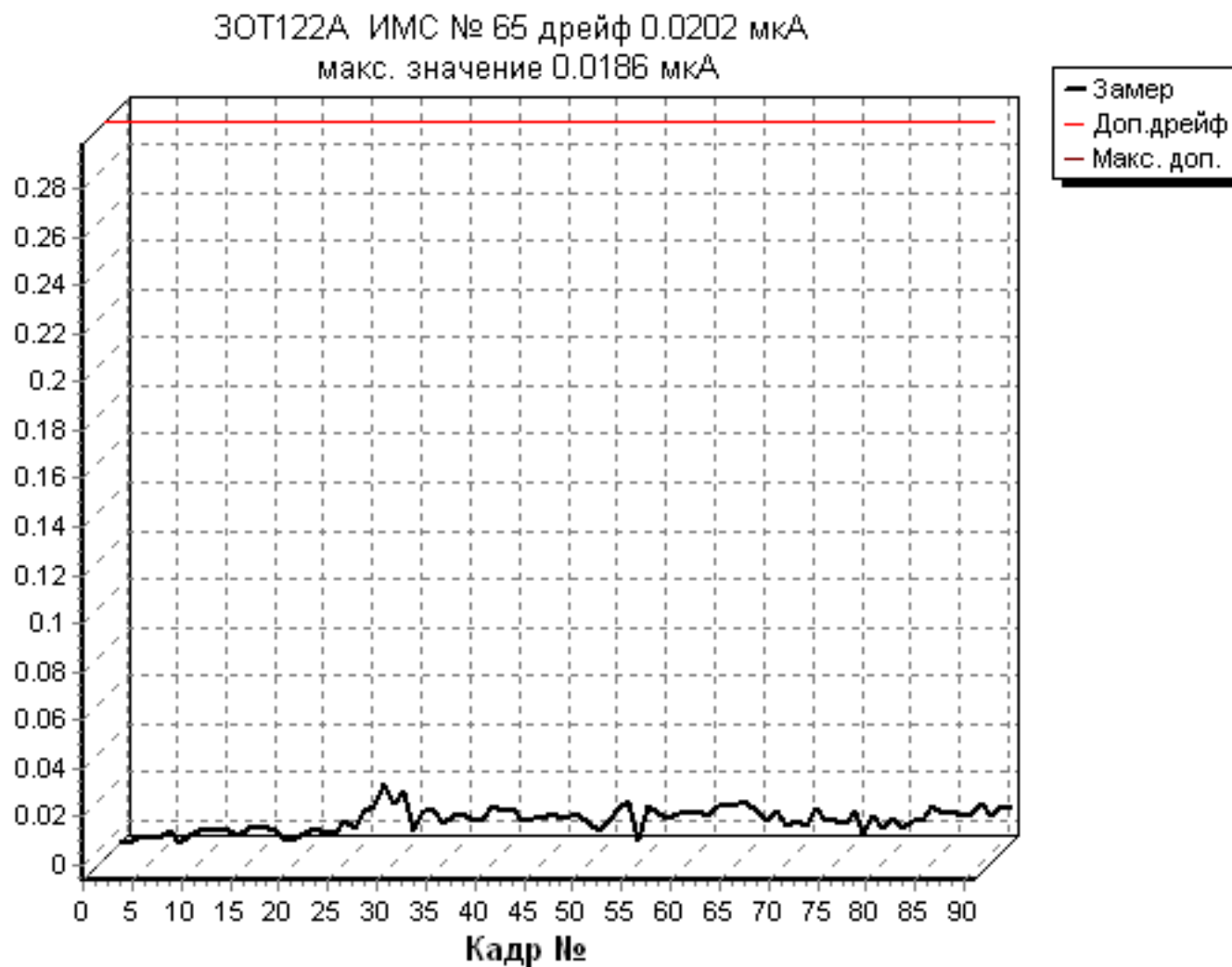
Для выявления оптопар ЗОТ122А-Г, имеющих нестабильные значения выходного тока утечки при задании напряжения развязки между входом и выходом в ИТЦ-НПО ПМ разработана методика и аппаратура, позволяющая задавать необходимые режимы, измерять и обрабатывать результаты измерения токов утечки для каждого испытуемого оптрона.

У некоторых оптронов в процессе электротермотренировки наблюдается увеличение тока утечки до значений, превышающих требования ТУ.

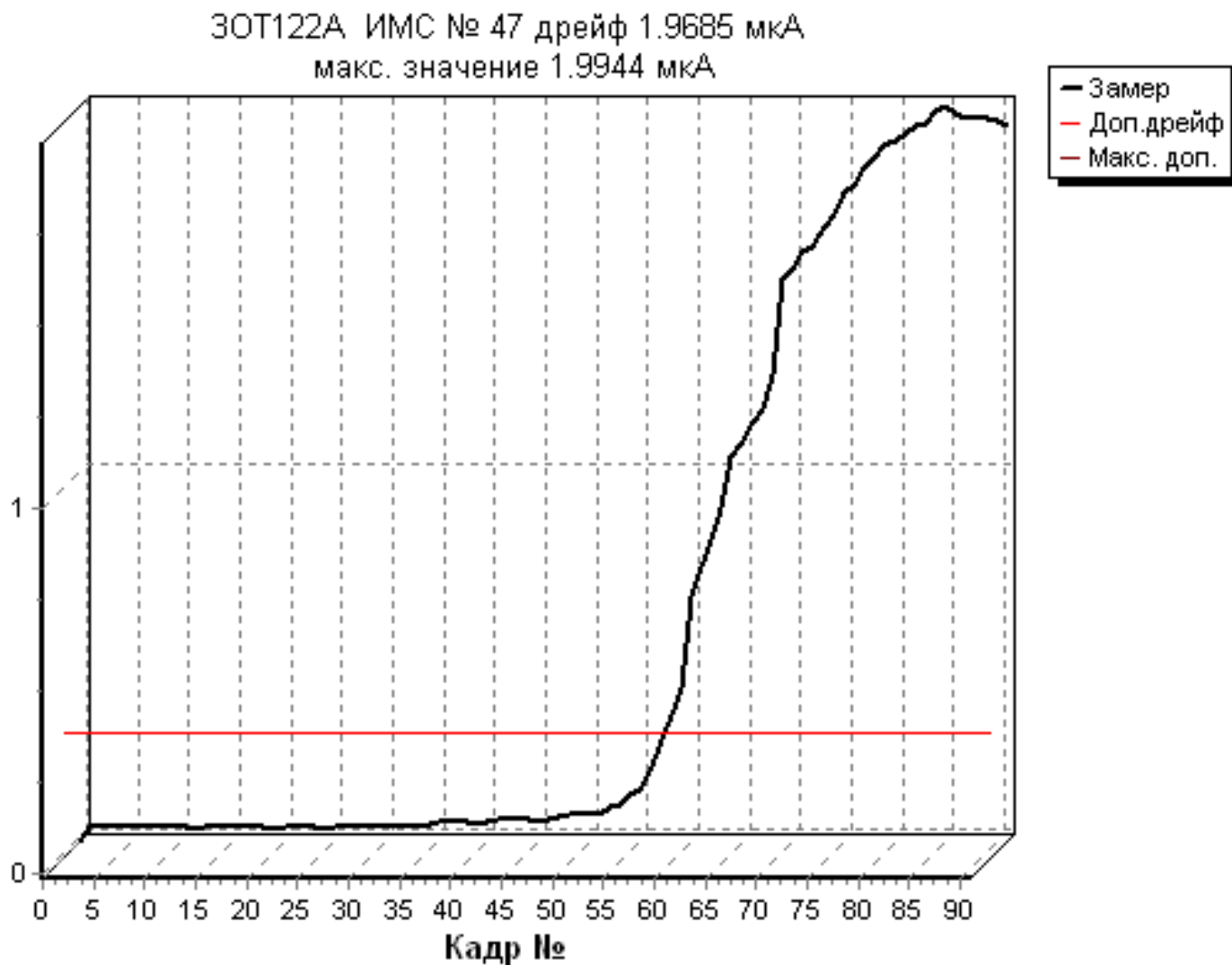
При хранении оптронов после ЭТТ в нормальных условиях в течение времени от нескольких дней до нескольких недель происходит восстановление их параметров.

При повышенной температуре среды время восстановления сокращается в десятки и сотни раз.

Пример графика изменения тока утечки микросхем ЗОТ122А в процессе ЭТТ, признанной годной по установленным в АО «ИТЦ-НПО ПМ» критериям



Пример графика изменения тока утечки микросхем ЗОТ122А, не соответствующей установленным в АО «ИТЦ-НПО ПМ» нормам дрейфа в процессе ЭТТ



Пример графика изменения тока утечки микросхем ЗОТ122А, не соответствующей установленным в АО «ИТЦ-НПО ПМ» нормам тока утечки в процессе ЭТТ

