

УТВЕРЖДАЮ
Первый заместителем генерального директора –
заместитель по научной работе
ФГУП «ВНИИФТРИ»


А.Н. Шипунов
«30» 2014 г.

М.И.
Федеральная государственная научно-исследовательская и радиотехническая лаборатория
«ВНИИФТРИ»
г. Москва, 125009, Россия
ОГРН 1035000885901

Комплексы измерения основных параметров антенных систем КИОП
Методика поверки

651-14-25 МП

н.р. 60414-15

р.п. Менделеево
2014 г.

1 Общие сведения

1.1 Настоящая методика распространяется на комплексы измерения основных параметров антенных систем КИОП (далее – комплексы) и устанавливает методы, средства и объем их первичной и периодической поверок.

1.2 Интервал между поверками - 1 год.

2 Операции поверки

2.1 При поверке комплекса выполнить работы в объеме, указанном в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Наименование операции	Номер пункта методики поверки	Проведение операции при:	
		первичной поверке (после ремонта)	периодической поверке
1 Внешний осмотр	8.1	да	да
2 Опробование	8.2	да	да
3 Идентификация программного обеспечения	8.3	да	да
4 Определение метрологических характеристик комплекса	8.4	да	да
4.1 Определение относительной погрешности измерений частоты	8.4.1	да	да
4.2 Определение предельной чувствительности	8.4.2	да	да
4.3 Определение относительной погрешности измерений уровня мощности сигнала	8.4.3	да	да
4.4 Определение относительной погрешности коэффициента передачи коммутатора	8.4.4	да	да

2.2 При получении отрицательных результатов при выполнении любой из операций поверка прекращается и комплекс бракуется.

3 Средства поверки

3.1 При проведении поверки использовать средства измерений и вспомогательное оборудование, представленные в таблице 3.1.

3.2 Применяемые средства поверки должны быть утвержденного типа, исправны и иметь действующие свидетельства о поверке (отметки в формулярах или паспортах).

Таблица 3.1

№ пунктов методики поверки	Наименование рабочих эталонов или вспомогательных средств поверки; номер документа регламентирующего технические требования к рабочим эталонам или вспомогательным средствам; разряд по государственной поверочной схеме и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
8.4.1, 8.4.3, 8.4.4	Генератор сигналов E8257D: диапазон частот от 250 кГц до 40 ГГц, пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты $\pm 7,5 \cdot 10^{-8}$; максимальный уровень выходной мощности не менее 10 дБ/мВт
8.4.2	Генератор шума 346A: пределы допускаемой погрешности установки уровня спектральной плотности шумового радиоизлучения, дБ: от 0,01 до 1,5 ГГц $\pm 0,21$ от 1,5 до 7,0 ГГц $\pm 0,20$ от 7,0 до 18,0 ГГц $\pm 0,27$
8.4.2	Источник питания постоянного тока N6700B: пределы допускаемой абсолютной погрешности установки выходного напряжения $\pm (0,016 \cdot 10^{-2} \cdot U_{\text{вых.}} + 6 \text{ мВ})$; предел допускаемой абсолютной погрешности установки выходного тока $\pm (0,04 \cdot 10^{-2} \cdot I_{\text{вых.}} + 0,2 \text{ мА})$, где $U_{\text{вых.}}$ и $I_{\text{вых.}}$ - установленные значения выходного напряжения и силы тока соответственно.
8.4.3	Agilent 8494A (опция 001): диапазон частот от 0 до 4 ГГц; динамический диапазон от 0 до 11 дБ; предел допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения единицы ослабления не более $\pm 0,03$ дБ; Аттенюатор 8491A (опция 010): (2 шт.): диапазон частот от 0 до 12,4 ГГц; 10 дБ; предел допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения единицы ослабления не более $\pm 0,5$ дБ;
8.2	Комплекты для измерения соединителей коаксиальных КИСК – 7: пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений $\pm 0,01$ мм
Вспомогательные средства поверки	
8.4.1 - 8.4.4	Кабели соединительные: 10503A (BNC \times 2) (вилка \times вилка); 11500E 3,5 мм (вилка) \times 3,5 мм (вилка), 61 см; FB142F1009001111 2,4 мм (розетка) \times 2,4 мм (розетка), 90 см
8.4.1 - 8.4.4	Переходники: Тип III (вилка) \times 3,5 мм (вилка); Тип III (вилка) \times 3,5 мм (розетка); 2,4 мм (вилка) \times 3,5 мм (розетка); 11901C 2,4 мм (вилка) \times 3,5 мм (розетка); 1250-1749 или 83059B 3,5 мм (розетка) \times 3,5 мм (розетка)

3.2 Допускается использование других средств поверки, позволяющие определять метрологические характеристики с требуемой точностью.

4 Требования к квалификации поверителей

4.1 К проведению поверки комплекса допускается инженерно-технический персонал со среднетехническим или высшим образованием, ознакомленный с руководством по эксплуатации (РЭ) и документацией по поверке, допущенный к работе с электроустановками и имеющие право на поверку (аттестованными в качестве поверителей) в области радиотехнических измерений.

5 Требования безопасности

5.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности в соответствии с ГОСТ 12.3.019-80.

5.2 К работе с комплексом допускаются лица, изучившие требования безопасности по ГОСТ 22261-94, ГОСТ Р 51350-99, инструкцию по правилам и мерам безопасности и прошедшие инструктаж на рабочем месте.

5.3 При проведении поверки необходимо принять меры защиты от статического напряжения, использовать антистатические заземленные браслеты и заземлённую оснастку. Запрещается проведение измерений при отсутствии или неисправности антистатических защитных устройств.

6 Условия поверки

6.1 Поверку проводить при следующих условиях:

- температура окружающего воздуха, °C 23 ± 3 ;
- относительная влажность воздуха, % от 5 до 80;
- атмосферное давление, кПа от 96 до 104;
- напряжение питания, В от 198 до 242;
- частота, Гц 50.

7 Подготовка к поверке

7.1 Перед проведением поверки необходимо выполнить следующие подготовительные работы:

- выполнить операции, оговоренные в РЭ на поверяемый комплекс по его подготовке к работе;
- выполнить операции, оговоренные в РЭ на применяемые средства поверки по их подготовке к измерениям;
- осуществить прогрев приборов для установления их рабочих режимов

8 Проведение поверки

8.1 Внешний осмотр

8.1.1 При внешнем осмотре проверить:

- отсутствие механических повреждений и ослабление элементов, четкость фиксации их положения;
- чёткость обозначений, чистоту и исправность разъёмов и гнёзд, наличие и целостность печатей и пломб;
- наличие маркировки согласно требованиям РЭ.

8.1.2 Результаты поверки считать положительными, если выполняются все перечисленные требования. В противном случае комплекс бракуется.

8.2 Опробование

8.2.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ. Проверить отсутствие сообщений о неисправности в процессе загрузки программного обеспечения. Три индикатора зеленого цвета в верхней части главного окна сигнализируют о готовности прибора к работе:

- первый – ПУМ-А – приемное устройство мониторинга;
- второй – преобразователь L/480 – преобразователь частоты;
- третий – коммутатор 8 x 2. (восемь входов и два выхода).

Для контроля работоспособности преобразователя L/480 и коммутатора 8x2 включить и выключить внешний блок. При этом второй и третий индикаторы в выключенном состоянии будут иметь серый цвет, а во включенном состоянии – зеленый. Результаты операции считать положительными, если программа реагирует на действия оператора.

8.2.2 Проверку присоединительных размеров СВЧ входов проводить с применением измерителей КИСК-7. Результаты выполнения операции считать положительными, если присоединительный размер соответствует требованиям ГОСТ 13317-89 для розеток соединителей типа III.

8.2.3 Результаты поверки считать положительными, если выполняются процедуры, приведенные в пп. 8.2.1 – 8.2.2.

8.3 Идентификация программного обеспечения

8.3.1 Проверку соответствия заявленных идентификационных данных программного обеспечения (ПО) комплекса проводить в следующей последовательности:

- проверить наименование ПО;
- проверить номер версии ПО;
- проверить идентификационные данные ПО.

8.3.2 Результаты проверки считать положительными, если номер версии и идентификационные данные ПО соответствуют, приведенным в таблице 8.3.1.

Таблица 8.3.1

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	KIOP.exe
Номер версии (идентификационный номер) ПО	1.0
Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода)	17683255501F4900BC0B355C1F2B4795

8.4 Определение метрологических характеристик комплекса

8.4.1.1 Определение относительной погрешности измерений частоты

8.4.1.2 Подготовить комплекс и генератор E8257D к работе в соответствии с их РЭ. Собрать схему, как показано на рисунке 8.4.1.

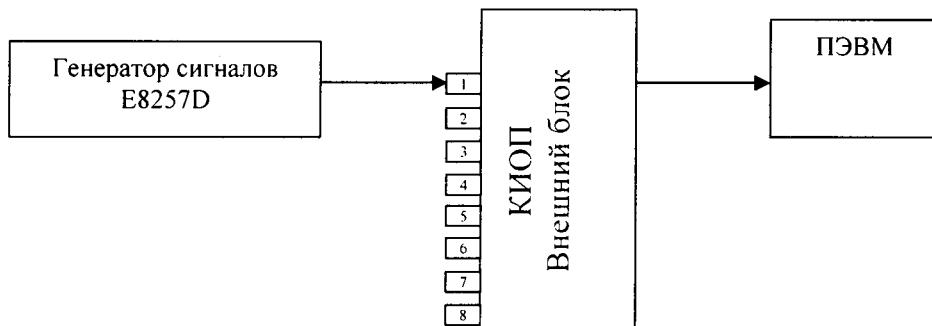


Рисунок 8.4.1

8.4.1.2 Соединить выход генератора E8257D с входом №1 внешнего блока и установить первую частоту 970 МГц из таблицы 8.4.1 и уровень мощности выходного сигнала минус 60 дБм¹.

8.4.1.3 В главном меню программы «КИОП» выбрать пункт «ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ». В появившемся окне нажать кнопку «ОПРОС УСТРОЙСТВА». В окне «ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТОТА» из меню «ПОЛОСА АНАЛИЗА» установить первую частоту 970 МГц из таблицы 8.4.1. «ШИРИНА ПОЛОСЫ» - 5 МГц. В меню «ПАРАМЕТРЫ УСТРОЙСТВА» выбрать вход №1. Остальные параметры по умолчанию.

8.4.1.4 В окне отображения спектра определить отклонение максимума сигнала от центра частотной шкалы, который имеет нулевое значение. Эту величину занести в таблицу 8.4.1 как отклонение от центральной частоты, в данном случае от 970 МГц.

8.4.1.5 Повторить измерения для оставшихся частот из таблицы 8.4.1 и занести полученные значения отклонения частоты в соответствующую графу.

8.4.1.6 Рассчитать относительную погрешность измерений частоты (в процентах) по формуле:

$$\delta F = \frac{\Delta F}{F} \cdot 100, \quad (1)$$

¹ Для обозначения единицы абсолютного уровня сигнала по мощности, определяемого как $10 \cdot \lg(P)$, где P - значение мощности, выраженной в милливаттах, используется дБм.

где ΔF – измеренное отклонение частоты, МГц;

F – центральная частота, МГц.

8.4.1.7 Результаты поверки измерений считать положительными, если значения относительной погрешности измерений частоты находятся в пределах $\pm 0,1\%$ в диапазоне рабочих частот от 970 до 2110 МГц.

Таблица 8.4.1

Центральная частота, МГц	Измеренное отклонение частоты, МГц	Относительная погрешность измерений частоты, %
970		
1010		
1510		
1710		
1910		
2110		

8.4.2 Определение предельной чувствительности

8.4.2.1 Подготовить комплекс и генератор шума 346А (ГШ) к работе в соответствии с их РЭ. Собрать схему, как показано на рисунке 8.4.2.

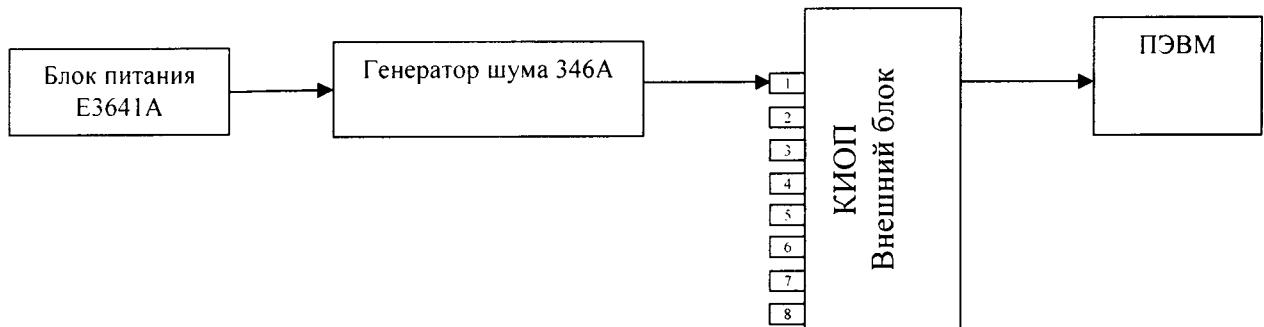


Рисунок 8.4.2

8.4.2.2 Подключить питание ГШ + 28 В от меры напряжения и тока Е3641А и соединить выход ГШ со входом № 1 внешнего блока.

8.4.2.3 Запустить программу "КИОП". В главном меню программы «КИОП» выбрать пункт «ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ». В появившемся окне нажать кнопку «ОПРОС УСТРОЙСТВА». В окне «ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТОТА» из меню «ПОЛОСА АНАЛИЗА» установить первую частоту 970 МГц из таблицы 8.4.2. «ШИРИНА ПОЛОСЫ» - 1 МГц. В меню «ПАРАМЕТРЫ УСТРОЙСТВА» выбрать вход №1. Остальные параметры по умолчанию.

Таблица 8.4.2

Частота, МГц	Мощность при вкл. ГШ		Мощность при выкл. ГШ		Нотн.ед	Коэффициент шума, отн. ед	Предельная чувствительность, дБм/Гц
	отн. ед.	дБ	отн. ед.	дБ			
970							
1010							
1510							
1710							
1910							
2110							

8.4.2.4 Измерить уровень мощности при помощи программы "КИОП" при выключенном ГШ в дБ и занести показания в таблицу 8.4.2.

8.4.2.5 Включить питание ГШ и занести уровень мощности включенного ГШ (дБ) в таблицу 8.4.2.

8.4.2.6 По формулам:

$$P_{\text{отн.ед.вкл}} = 10^{P_{\text{дБвкл}} \cdot 0,1}, \quad P_{\text{отн.ед.выкл}} = 10^{P_{\text{дБвыкл}} \cdot 0,1} \quad (2)$$

определить значения мощности в относительных единицах.

Вычислить коэффициент шума всего измерительного тракта в относительных единицах по формуле:

$$F = \frac{N}{\frac{P_{\text{отн.ед.вкл}}}{P_{\text{отн.ед.выкл}}} - 1}, \quad (3)$$

где N - значение СПМШ генератора шума на измеряемой частоте в относительных единицах.

Произвести расчет предельной чувствительности в дБм/Гц полосы по формуле:

$$P_{\text{п.чувств.}} = 10 \cdot \lg \cdot (k \cdot T_0 \cdot F \cdot 1000), \quad (4)$$

где $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Вт/Гц·град - постоянная Больцмана;

$T_0 = 293$ К; F – коэффициент шума измерительного тракта в относительных единицах.

8.4.2.7 Результаты поверки считать положительными, если значения предельной чувствительности на единицу полосы не более минус 155 дБм/Гц.

8.4.3 Определение относительной погрешности измерений уровня мощности сигнала

Оценки погрешностей получаются на основе результатов измерений нелинейности комплекса на синусоидальном сигнале. Метод измерения основан на использовании одной ступени ослабления ступенчатого аттенюатора, значение ослабления которой точно неизвестно, но постоянно и стабильно при переключении. Включением/выключением этой ступени, имеющей номинальное значение ослабления 5 дБ, создается постоянное отношение уровней сигнала Y при разных уровнях сигнала на выходе генератора, что дает возможность оценить нелинейность на разных участках динамического диапазона.

8.4.3.1 Подготовить комплекс и генератор E8257D к работе в соответствии с их РЭ. Собрать схему, как показано на рисунке 8.4.3.



Рисунок 8.4.3

8.4.3.2 Подать синусоидальный на частоте 1510 МГц с выхода генератора E8257D на вход № 1 внешнего блока аттенюатора через ступенчатый аттенюатор Agilent 8494A (опция 001) с двумя фиксированными аттенюаторами 8491A (опция 010 10 дБ). Установить уровень мощности выходного сигнала на генераторе E8257D минус 17 дБм.

8.4.3.3 Запустить программу “КИОП”. В главном меню программы «КИОП» выбрать пункт «ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ». В появившемся окне нажать кнопку «ОПРОС УСТРОЙСТВА». В окне «ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТОТА» из меню «ПОЛОСА АНАЛИЗА» ус-

становить частоту 1510 МГц, «ШИРИНА ПОЛОСЫ» - 0,1 МГц. В меню «ПАРАМЕТРЫ УСТРОЙСТВА» выбрать вход №1. В окне «АТТЕНЮАТОР» установить значение 40 дБ и убрать выбор автоматического переключения аттенюатора. Остальные параметры по умолчанию.

8.4.3.4 Установить ослабление ступенчатого аттенюатора 0 дБ (далее по тексту – исходное положение). При помощи программы “КИОП” произвести измерение входной мощности в последовательности, обеспечивающей уменьшения влияния возможного дрейфа показаний на результаты измерений. Дождавшись установившегося значения, измерить уровень мощности сигнала $P'_{\text{A.выкл}}$. Результат занести в графу 2 таблицы 8.4.3. Увеличить ослабление ступенчатого аттенюатора на 5 дБ и измерить уровень мощности $P_{\text{A.вкл}}$. Результат занести в графу 4 таблицы 8.4.3. Установить ступенчатый аттенюатор в исходное положение и измерить уровень мощности $P''_{\text{A.выкл}}$. Результат занести в графу 3 таблицы 8.4.3. Рассчитать по результатам измерений отношение Y по формуле (5):

$$Y = P_{\text{A.вкл}} - P'_{\text{A.выкл}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{A.выкл}} = \frac{P'_{\text{A.выкл}} + P''_{\text{A.выкл}}}{2}$.

Результат занести в графу 5 таблицы 8.4.3.

Таблица 8.4.3

Мощность выходного сигнала E8257D, дБм	Мощность при 0 дБ ступенчатого аттенюатора		Мощность при 5 дБ ступенчатого аттенюатора $P_{\text{A.вкл}}$	Расчет значения ступени ослабления Y , дБ	
	$P'_{\text{A.выкл}}$	$P''_{\text{A.выкл}}$			
0	1	2	3	4	5
1	-17				
2	-18				
3	-19				
4	-20				
5	-21				
6	-22				
7	-23				
8	-24				
9	-25				
10	-26				
11	-27				
12	-28				
13	-29				
14	-30				

8.4.3.5 Уменьшая уровень выходной мощности генератора сигнала E8257D с шагом 1 дБм в последовательности, указанной в таблице 8.4.3 (столбец 1) повторять каждый раз процедуру по п. 8.4.3.4.

8.4.3.6 Рассчитать среднее значение Y_0 , дБ, ослабления используемой ступени 5 дБ по формуле (6):

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n},$$

где Y_i – значения ступени ослабления 5 дБ; n – количество значений ступени ослабления 5 дБ равное 14.

8.4.3.7 Рассчитать относительную погрешность измерений уровня мощности сигнала по формуле:

$$\delta K = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_0)$$

8.4.3.8 Результаты поверки считать положительным если значения относительной погрешности измерений уровня мощности сигнала δK находятся в пределах $\pm 0,15$ дБ.

8.4.4 Определение относительной погрешности коэффициента передачи коммутатора

8.4.4.1 Подготовить комплекс и генератор E8257D к работе в соответствии с их РЭ. Собрать схему, как показано на рисунке 8.4.4.

8.4.4.2 Установить на генераторе E8257D частоту 1510 МГц и уровень сигнала минус 50 дБм.

8.4.4.3 Запустить программу "КИОП". В главном меню программы «КИОП» выбрать пункт «ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ». В появившемся окне нажать кнопку «ОПРОС УСТРОЙСТВА». В окне «ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТОТА» из меню «ПОЛОСА АНАЛИЗА» установить частоту 1510 МГц, «ШИРИНА ПОЛОСЫ» - 0,1 МГц. В меню «ПАРАМЕТРЫ УСТРОЙСТВА» выбрать вход №1. Остальные параметры по умолчанию.

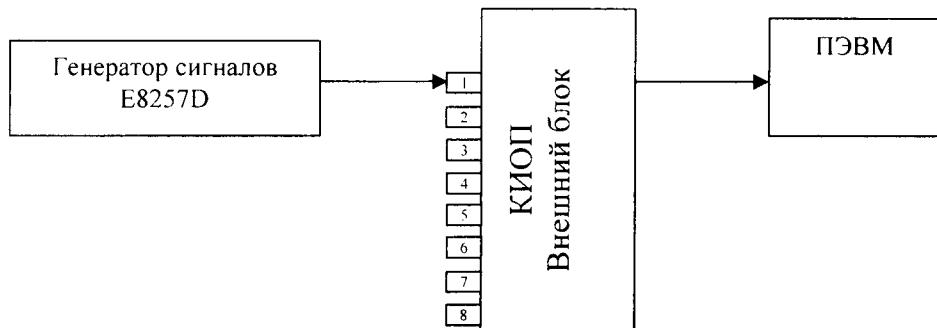


Рисунок 8.4.4

8.4.4.4 Произвести измерение входного сигнала и занести его значение в таблицу 8.4.4 для входа №1 комплекса.

8.4.4.5 Повторить пункт 8.4.4.4 для остальных входов внешнего блока и результаты измерений занести в таблицу 8.4.4.

Таблица 8.4.4

Номер входа	Уровень измеренного сигнала, дБ
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
$\delta_{комм}$	

8.4.4.6 По формуле (5) вычислить значение относительной погрешности коэффициента передачи коммутатора $\delta_{комм}$ и занести его в таблицу 8.4.4.

$$\delta_{комм} = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{\sigma}{P_{СРЕДН.}} \right), \quad (5)$$

где $P_{СРЕДН.}$ – среднее линейное значение измеренной мощности для всех входов,

$$P_{СРЕДН.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}. \quad (6)$$

P_i - линейное значение измеренной мощности для каждого входа СВЧ; n – количество входов комплекса равное 8.

$$P_i = 10^{\frac{P_{обi}}{10}} \quad (7)$$

$P_{об}$ - значение измеренной мощности для каждого входа СВЧ в дБ.

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum_{i=0}^{n-1} (P_i)^2 - \left(\sum_{i=0}^{n-1} P_i \right)^2}{n(n-1)}}. \quad (8)$$

8.4.4.7 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности коэффициента передачи коммутатора $\delta_{комм}$ находятся в пределах $\pm 0,5$ дБ.

9 Оформление результатов поверки

9.1 При положительных результатах поверки на комплекс выдается свидетельство установленной формы.

9.2 На оборотной стороне свидетельства о поверке записывают результаты поверки.

9.3 При отрицательных результатах поверки на комплекс оформляют извещение о непригодности к применению с обязательным указанием причин забракования.

Заместитель начальника НИО-6 –
начальник ЦИПСИ ФГУП «ВНИИФТРИ»

Начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

Старший научный сотрудник
ФГУП «ВНИИФТРИ»

А.В. Апрелев

О.В. Каминский

Ю.А. Буренков