

ГОССТАНДАРТ РОССИИ

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства  
измерений

МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОБОСНОВАНИЯ ПОВЕРОЧНЫХ  
СХЕМ ПРИ ИХ РАЗРАБОТКЕ

МИ 2230-92

НПО "ВНИИМ им. Д.И.Менделеева"  
С.-Петербург  
1992 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства  
измерений

Методика количественного обоснования повероч-  
ных схем при их разработке

Настоящая рекомендация предназначена для применения в метрологических НИИ и НПО Госстандарта России при разработке государственных поверочных схем. Она может применяться также в других организациях (на предприятиях) при разработке локальных поверочных схем.

Рекомендация устанавливает методику количественного обоснования структуры и параметров поверочных схем при их разработке.

### I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Количественное обоснование структуры и параметров поверочных схем выполняют в процессе разработки этих схем в соответствии с МИ I848-91.

Количественное обоснование выполняют на стадии разработки I-й редакции проекта НТД на поверочную схему. Результаты расчета указывают в пояснительной записке к проекту в разделе "Технико-экономическая эффективность от внедрения НТД".

I.2. Определение структуры и параметров поверочной схемы осуществляется путем выбора наиболее рационального варианта поверочной схемы из нескольких альтернативных вариантов их построения на основании расчета и анализа характеристик этих вариантов.

I.3. В качестве критерия рациональности поверочной схемы принят показатель метрологической эффективности  $\mathcal{F}$  и экономический показатель З.

I.3.1. Показатель метрологической эффективности  $\mathcal{F}$  равен средневзвешенной, с учетом производительности и точности рабочих средств измерений (СИ), вероятности принятия годным неисправного рабочего СИ данного вида измерений.

I.3.2. Экономический показатель З равен средним народнохозяйственным годовым затратам на обеспечение единства данного вида измерений.

1.3.3. При выборе рационального варианта следует стремиться к минимуму обоих показателей, как  $F$ , так и  $Z$ . Если такого варианта нет, критерий рациональности выбирают следующим образом.

Если установлены ограничения по показателю  $Z$  или ее отдельным составляющим (например, капитальным затратам на создание новых эталонов (образцовых СИ)), в качестве критерия выбирают минимум показателя  $F$ .

Если установлены требования к  $F$  или нормируются показатели качества поверки рабочих СИ в соответствии с МИ 187-86, в качестве критерия принимают минимум показателя  $Z$ . Если не установлены ограничения ни на  $F$ , ни на  $Z$ , рекомендуется выбрать вариант, обеспечивающий минимум  $(Z^* - Z_l) / (F^* - F_l)$ , где  $F^*$ ,  $Z^*$  – значения показателей  $F$  и  $Z$  варианта с наихудшим показателем метрологической эффективности ( $F^* = \max_i F_i$ ).

1.3.4. Допускается выбор рационального варианта только по критерию минимума метрологического показателя  $F$ , без учета экономического показателя  $Z$ , соответствующего рассматриваемым вариантам поверочной схемы.

1.4. Рекомендации учитывают следующие способы поверки СИ.

1.4.1. Поверка, при которой градуируют все СИ, поступившие на поверку. Этот способ применяют, как правило, при поверке вторичных эталонов и высокостабильных рабочих эталонов:

1.4.2. Поверка, при которой бракуют СИ, нестабильность которых за межповерочный интервал превышает предел допускаемой нестабильности, установленный для СИ данного типа, а затем градуируют остальные СИ. Этот способ применяют, как правило, при поверке эталонных мер и измерительных преобразователей, но иногда и при поверке рабочих мер и измерительных преобразователей.

1.4.3. Поверка, при которой бракуют СИ, основная погрешность которых превышает предел допускаемой основной погрешности СИ данного типа. Этот способ применяют, как правило, при поверке рабочих СИ и рабочих эталонов (образцовых средств измерений, далее – рабочих эталонов), имеющих заводскую градуировочную характеристику.

1.5. При проведении количественных обоснований рекомендуется учесть следующее.

I.5.1. Если предусмотрена поверка способом, указанным в п. I.4.3, для повышения метрологической надежности поверяемого СИ и качества его поверки целесообразно установить уменьшенный контрольный допуск на основную погрешность, т.е. допуск на поверку, меньший по абсолютному значению, чем предел допускаемой основной погрешности.

I.5.2. Если предусмотрена поверка способом, указанным в п. I.4.2, установление уменьшенного контрольного допуска на нестабильность СИ нецелесообразно из-за больших экономических потерь, обусловленных необоснованным забракованием годных СИ (фиктивным браком поверки).

I.6. Количественное обоснование структуры и параметров поверочной схемы выполняют с целью оказания методической помощи разработчику схемы. Результаты расчета имеют справочный характер. Окончательное решение по выбору структуры и параметров поверочной схемы принимает ее разработчик.

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.1. Альтернативные варианты структуры поверочной схемы.

2.2. Способы поверки всех СИ, включенных в схему, в соответствии с п. I.4.

2.3. Метрологические характеристики СИ и методов поверки.

2.3.1. Метрологические характеристики первичного эталона в соответствии с ГОСТ 8.381-80:

граница неисключенной систематической погрешности  $\theta_0$ , предел допускаемых значений среднего квадратического отклонения (СКО) случайной погрешности  $S_0$  (с указанием числа независимых измерений  $N_0$ ), предел допускаемой нестабильности  $\gamma_0$  за определенный промежуток времени  $T_0$  (индекс "0" означает, что данное СИ возглавляет поверочную схему).

2.3.2. Метрологические характеристики вторичных и рабочих эталонов (образцовых СИ) и рабочих СИ, в зависимости от способа их поверки:

при поверке в соответствии с п. I.4.1 - пределы допускаемых значений СКО случайных погрешностей СИ  $S_i$  и метода его поверки  $S_{M(i-1)}$  при одном измерении,

при поверке в соответствии с п. I.4.2 - пределы допускаемых значений СКО случайных погрешностей СИ  $S_i$  и метода его поверки  $S_{M(i-1)}$

и предел допускаемой нестабильности СИ  $V_i$  за межпроверочный интервал  $T_i$ ,

при поверке в соответствии с п. I.4.3 – предел допускаемой погрешности СИ  $\Delta_i$ .

2.3.3. Число независимых измерений при поверке  $n_{i-1}$  и применении  $N_i$  СИ  $i$ -го типа (уточняется в процессе расчета).

2.3.4. Среднее значение межпроверочного интервала  $T_i^P (T_i^P)$  эталона (рабочего СИ)  $i$ -го типа.

2.4. Требования к показателям качества поверки эталонов и рабочих СИ по МИ И87-86 (если они установлены):

предел допускаемых значений наибольшей вероятности признания годным негодного СИ  $S$ -го типа (вероятности необнаруженного брака)

$$P_{\text{брак}}^*$$

отношение предела допускаемых значений максимальной погрешности СИ  $s$ -го типа, признанного по результатам поверки годным, к пределу допускаемой погрешности  $\Delta_s - \delta_{\text{max}}^*$ ,

предел допускаемых значений средней вероятности забракования годного СИ  $s$ -го типа (фиктивного брака в среднем) –  $P_{\text{брк}}^*$ .

2.5. Средняя производительность  $\Pi_{ik}^P (\Pi_{ik}^P)$  вторичных и рабочих эталонов  $L$ -го типа при поверке эталонов (СИ)  $K$ -го типа, равная максимальному числу СИ  $K$ -го типа, которые реально могут быть поверены в течение года с помощью одного эталона  $i$ -го типа, с учетом затрат времени на профилактику, поверку, ремонт и решение других измерительных задач.

2.6. Средняя производительность  $\Pi_i$  рабочих СИ  $i$ -го типа, равная максимальному числу измерений, которые реально могут быть выполнены с помощью СИ с учетом затрат времени на профилактику, поверку и ремонт.

2.7. Верхняя оценка числа рабочих СИ  $i$ -го типа в стране –  $N_i^P$ .

2.8. Экономические показатели

2.8.1. Для эталонов – цена (для уникальных – капитальные затраты на создание)  $K_i$  в руб.;

– средние затраты на эксплуатацию СИ  $i$ -го типа в течение года, в руб. (без учета стоимости его метрологических аттестаций и поверок) или ее составляющие, в соответствии с Приложением I.

2.8.2. Для СИ, поверяемых способом п. I.4.3, – средние стоимости поверки  $C_{pl}$  и ремонта (включающего градуировку)  $C_{rl}$  в руб.

2.8.3. Для рабочих СИ, поверяемых способом п. I.4.2,- цена СИ  $K_i$  в руб.

2.8.4. Если в соответствии с п. I.3.4 для альтернативных вариантов поверочной схемы не определяются затраты на обеспечение единства измерений  $Z_i$ , данные, перечисленные в п. 2.8, не используются и могут не определяться.

2.9. Ограничения на число вторичных и рабочих эталонов, обусловленные ограниченностью ресурсов, производственных мощностей или другими факторами.

### 3. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, УКАЗЫВАЕМЫХ В ПОВЕРОЧНЫХ СХЕМАХ

3.1. Характеристики погрешности СИ определяют по рекуррентным формулам пп.3.2-3.6 в последовательности, соответствующей порядку передачи размера единицы. Характеристики СИ  $i$ -й ступени поверочной схемы рассчитывают с учетом характеристик эталонов  $(i-1)$ -й ступени поверочной схемы, предназначенных для их поверки.

3.2. В качестве характеристики погрешности первичного эталона указывают доверительные границы погрешности воспроизведения единицы и передачи ее размера  $\delta_o$  при вероятности  $P_o = 0,99$ .

3.2.1. Доверительные границы погрешности определяют по формуле

$$\delta_o = t_{\Sigma o} S_{\Sigma o}, \quad (I)$$

где  $S_{\Sigma o}$  - предел допускаемых значений СКО суммарной погрешности воспроизведения единицы и передачи ее размера,

$$S_{\Sigma o} = \sqrt{\frac{\theta_o^2}{3} + S_o^2 + \frac{V_o^2}{6}},$$

$$t_{\Sigma o} = \frac{\theta_o + t(n_o-1; 0,99) S_o + V_o}{\sqrt{\frac{\theta_o^2}{3} + S_o^2 + \frac{V_o^2}{6}}},$$

$t(n_o-1; 0,99)$  - квантиль распределения Стьюдента при числе степеней свободы  $(n_o-1)$  и вероятности  $P_o = 0,99$ .

Если  $V_o$  не устанавливается документами на первичный эталон, в (I) полагают  $V_o = 0$ .

3.3. Характеристики погрешности вторичных и рабочих эталонов и рабочих СИ выбирают с учетом способа их поверки по п. I.4.

### 3.4. Проверка в соответствии с п. I.4.1

3.4.1. В качестве характеристики погрешности СИ указывают предел допускаемых доверительных границ его погрешности  $\delta_{\Sigma i}$  при вероятности  $P_i$ .

3.4.2. Предел допускаемых доверительных границ погрешности определяют по формуле

$$\delta_{\Sigma i} = t_{\Sigma i} S_{\Sigma i}, \quad (2)$$

где

$$S_{\Sigma i} = \sqrt{S_{\Sigma(i-1)}^2 + \frac{S_i^2 + S_{M(i-1)}^2}{n_{i-1}} + \frac{S_i^2}{n_i}} - \quad (3)$$

- предел допускаемых значений СКО суммарной погрешности СИ  $i$ -й ступени передачи размера единицы,

$$t_{\Sigma i} = \frac{U_{i-1} + t(n_{i-1}; P_{i-1}) \sqrt{\frac{S_i^2 + S_{M(i-1)}^2}{n_{i-1}}} + t(n_{i-1}; P_i) \frac{S_i}{\sqrt{n_i}}}{S_{\Sigma(i-1)} + \sqrt{\frac{S_i^2 + S_{M(i-1)}^2}{n_{i-1}}} + \frac{S_i}{\sqrt{n_i}}}, \quad (4)$$

$U_{i-1}$  - равно  $\delta_{\Sigma(i-1)}$  или  $\Delta_{i-1}$ , в зависимости от способа поверки СИ  $(i-1)$ -й ступени,

$t(n_{i-1}; P_i)$  - квантиль распределения Стьюдента при  $(n_{i-1})$  степени свободы и вероятности  $P_i$ ,

$n_i$  - число независимых измерений при поверке СИ по эталону  $i$ -й ступени передачи размера единицы.

### 3.5. Проверка в соответствии с п. I.4.2.

3.5.1. В качестве характеристик погрешности указывают:

предел допускаемой нестабильности СИ  $V_i$  за межпроверочный интервал и предел допускаемых доверительных границ погрешности градуировок СИ  $\delta_i$  при вероятности  $P_i$ ;

либо предел допускаемых доверительных границ погрешности СИ  $\delta_{\Sigma i}$  (с учетом нестабильности) при вероятности  $P_i$ ;

либо предел допускаемой погрешности  $\Delta_i$ .

3.5.2. Предварительно определяют минимально допустимое значение предела допускаемой нестабильности  $V_{i min}$  по формуле

$$V_{i min} = \frac{U_{i-1}}{\alpha_i}, \quad (5)$$

где  $U_{i-1}$  - как в п.3.4.2,

$\alpha_i$  - определяется из таблицы I в зависимости от фиктивного брака в среднем  $P_{gr i}$  и отношения  $a_{i-1}$ , равного

$$a_{i-1} = \frac{t(n_{i-1}-1; P_{i-1}) \sqrt{\frac{s_i^2 + s_m^2}{n_{i-1}}}}{u_{i-1}}, \quad (6)$$

Таблица I

Значения  $\alpha_i$  в зависимости от  $a_{i-1}$  и  $P_{gr\ i}$ 

$a_{i-1}$	$P_{gr\ i} = (1-2) \%$	$P_{gr\ i} = 10,5-11 \%$
0,5 и менее	I : 2	I : 3
0,7	I : 2,5	I : 3,5
I	I : 3	I : 4,5
2	I : 5	I : 7
3	I : 6	I : 10

3.5.3. Уточняют значение предела допускаемой нестабильности СИ  $v_i^*$ , указываемое в поверочной схеме.

$$v_i^* = \begin{cases} v_i & \text{если } v_i \geq v_{imin}, \\ v_{imin} & \text{если } v_i < v_{imin}. \end{cases}$$

Корректируют межпроверочный интервал по формуле

$$T_i^* = T_i \frac{v_i^*}{v_i}. \quad (7)$$

3.5.4. Вычисляют характеристики погрешности СИ, указываемые в поверочной схеме.

Предел допускаемых доверительных границ погрешности градуировки СИ определяют по формуле

$$\delta_i = t_{ri} s_{ri}, \quad (8)$$

где

$$s_{ri} = \sqrt{s_{\Sigma(i-1)}^2 + \frac{s_i^2 + s_m^2}{n_{i-1}} + \frac{s_i^2}{n_i}}, \quad (9)$$

$$t_{ri} = \frac{U_{i-1} + t(n_{i-1}; P_{i-1}) \sqrt{\frac{S_i^2 + S_{M(i-1)}^2}{n_{i-1}}} + t(n_{i-1}; P_i) \frac{S_i}{\sqrt{n_i}}}{S_{\Sigma(i-1)} + \sqrt{\frac{S_i^2 + S_{M(i-1)}^2}{n_{i-1}}} + \frac{S_i}{\sqrt{n_i}}} . \quad (10)$$

Предел допускаемых доверительных границ суммарной погрешности СИ определяют по формуле

$$\delta_{\Sigma i} = t_{\Sigma i} S_{\Sigma i} , \quad (II)$$

где

$$S_{\Sigma i} = \sqrt{S_{ri}^2 + \frac{y_i^*}{g}} \quad (I2)$$

- предел допускаемых значений СКО суммарной погрешности СИ  $i$ -й ступени,

$$t_{\Sigma i} = \frac{U_{i-1} + t(n_{i-1}; P_{i-1}) \sqrt{\frac{S_i^2 + S_{M(i-1)}^2}{n_{i-1}}} + t(n_{i-1}; P_i) \frac{S_i}{\sqrt{n_i}} + \lambda(P_i) \frac{v_i^*}{3}}{S_{\Sigma(i-1)} + \sqrt{\frac{S_i^2 + S_{M(i-1)}^2}{n_{i-1}}} + \frac{S_i}{\sqrt{n_i}} + \frac{y_i^*}{3}} , \quad (I3)$$

где  $\lambda(P_i)$  - квантиль нормального распределения при вероятности  $P_i$ .

Предел допускаемой погрешности СИ  $\Delta_i$  определяют аналогично  $\delta_{\Sigma i}$  по формулам (II) + (I3), в которых принимают  $P_i = 0,997$ .

### 3.6. Проверка в соответствии с п. I.4.3

3.6.1. В качестве характеристики погрешности СИ указывают предел допускаемой погрешности  $\Delta_i$ .

3.6.2. Определяют соотношение характеристик погрешностей эталона и поверяемого СИ

$$\alpha_i = \frac{U_{i-1}}{\Delta_i} , \quad (I4)$$

где  $U_{i-1}$  - как в п.3.4.2.

3.6.3. Определяют отношение контрольного допуска при поверке  $\Delta_{ki}$  к пределу допускаемой погрешности СИ  $\Delta_i$

$$\gamma_i = \frac{\Delta_{ki}}{\Delta_i} \quad (I5)$$

таким образом, чтобы обеспечить выполнение неравенства

$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{бат}}(d_i; \gamma_i) \leq P_{\text{бат}}^*, \\ \delta_{\max}(d_i; \gamma_i) \leq \delta_{\max}^*, \\ P_{\text{гр}}(d_i; \gamma_i) \leq P_{\text{гр}}^*. \end{array} \right\} \quad (I6)$$

и (или)

Показатели  $P_{\text{бат}}(d_i; \gamma_i)$ ,  $\delta_{\max}(d_i; \gamma_i)$ ,  $P_{\text{гр}}(d_i; \gamma_i)$  определяют по таблицам МИ 188-86.

Если  $P_{\text{бат}}^*$ ,  $\delta_{\max}^*$  и  $P_{\text{гр}}^*$  не установлены, рекомендуется принимать  $\gamma_i = 0,8$ .

3.6.4. Если не удается подобрать  $\gamma_i$ , удовлетворяющее требованиям п.3.6.3 при данном  $d_i$ , следует принять меры по уменьшению

$U_{L-i}$  (замкнув СИ  $i$ -й ступени на более точный эталон, увеличив число измерений при поверке, сократив межповерочный интервал для эталона и т.д.).

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПОВЕРОЧНОЙ СХЕМЫ

4.1. Предварительно на основании опыта составляют альтернативные варианты возможных структур поверочной схемы, отличающихся различным числом ступеней передачи размера единицы, применяемыми для поверки эталонами, соподчинением СИ и т.д.

4.2. Исходя из назначения СИ и способов нормирования их метрологических характеристик в НГД, выбирают, из указанных в п.1.4, способы поверки всех СИ, включенных в поверочную схему. Определяют другие исходные данные, перечисленные в разд.2, необходимые для расчета альтернативных вариантов.

4.3. Для каждого альтернативного варианта определяют в соответствии с разд.3 характеристики погрешности всех СИ. Одновременно уточняют числа независимых измерений при поверке всех СИ  $n_i$  и рекомендации по назначению межповерочных интервалов  $T_i$ .

4.4. Для каждого альтернативного варианта и каждого СИ, поверяемого в соответствии с п.1.4.2 или п.1.4.3, определяют по таблицам МИ 188-86 показатели качества поверки:

максимальную вероятность ошибочного принятия негодного СИ в качестве годного (необнаруженного брака)  $P_{\text{бат}}^*$ .

среднюю вероятность ошибочного забракования годного СИ (фиктивного брака)  $P_{\text{гр}}^*$ .

4.4.1. При поверке СИ в соответствии с п. I.4.3  $P_{\text{бат}i}$  находят по таблицам I или 3-6 МИ И88-86 (в зависимости от числа измерений при поверке) с учетом  $\alpha_i$  и  $\gamma_i$ , определенных в соответствии с п. 3.6, а  $P_{\text{гр}i}$  - по таблицам 2 или 7-8 МИ И88-86 с учетом  $\alpha_i$  и  $P_{\text{бат}i}$ .

4.4.2. При поверке СИ в соответствии с п. I.4.2  $P_{\text{бат}i}$  принимают равной нулю, а  $P_{\text{гр}i}$  находят по таблице I. п. 3.5.2.

4.4.3. Если значения  $\alpha_i$ ,  $\gamma_i$  не совпадают со значениями, указанными в таблицах МИ И88-86, необходимо провести интерполяцию (для  $\alpha_i < 0,5$ ) или экстраполирование (для  $\alpha_i > 0,5$ ).

4.5. Для каждого варианта поверочной схемы определяют необходимое количество эталонов каждого типа, исходя из необходимости полного удовлетворения потребностей страны в поверках СИ данного вида измерений. Расчет проводят в последовательности, обратной порядку передачи размера единицы. Сначала определяют число рабочих эталонов самого нижнего,  $i$ -го разряда, затем число рабочих эталонов ( $i-1$ )-го разряда и т.д., до первичного эталона.

Число эталонов  $i$ -го типа  $N_i^3$  должно удовлетворять неравенству

$$N_i^3 \geq \sum_{K=1}^{\zeta_3} l_{ik} \frac{N_k^P}{T_K^3 \Pi_{ik}^3} + \sum_{K=1}^{\zeta_P} l_{ik} \frac{N_k^P}{T_K^P \Pi_{ik}^P}, \quad (I7)$$

где  $N_k^P$  - см. п. 2.7,

$T_K^3, T_K^P$  - см. п. 2.3.4

$\Pi_{ik}, \Pi_{ik}^P$  - см. п. 2.5,

$l_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если эталон } i\text{-го типа применяют для поверки} \\ & \text{эталона или рабочего СИ } K\text{-го типа,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$

$\zeta_3 (\zeta_P)$  - число типов эталонов (рабочих СИ).

4.6. Проверяют выполнение ограничений по п. 2.9 на число эталонов  $N_i^3$ ,  $i=1, \dots, \zeta$ , (если они имеются). Варианты, для которых не выполняется хотя бы одно ограничение, отбрасывают.

4.7. Определяют метрологические показатели эффективности альтернативных вариантов поверочной схемы по формуле

$$\mathcal{F} = \frac{\sum_{i=1}^{\zeta_p} P_{\text{бами}} \frac{N_i^P \Pi_i}{U_i^2}}{\sum_{i=1}^{\zeta_p} \frac{N_i^P \Pi_i}{U_i^2}}, \quad (18)$$

где:  $\Pi_i$  - см. п.2.6,

$N_i^P$  - см. п.2.7,

$U_i$  - характеристика погрешности рабочего СИ  $i$ -го типа, указываемая в поверочной схеме ( $\Delta_i$  или  $\delta_{\Sigma i}$ , в зависимости от способа поверки).

4.8. Оценивают экономические показатели эффективности альтернативных вариантов по формуле

$$\mathfrak{Z} = \sum_{i=1}^{\zeta_p} [EK_i + C_{\vartheta i} + C_{\varphi i} \frac{P_{\vartheta \varphi i}^3}{T_i^3}] N_i^3 + \sum_{i=1}^{\zeta_p} C_{\varphi i} \frac{P_{\vartheta \varphi i}^R}{T_i^P} N_i^P, \quad (19)$$

где :  $E$  - коэффициент экономической эффективности капитальных затрат, средний по стране,

$K_i, C_{\vartheta i}$  - см. п.2.8.1, п.2.8.3,

$C_{\varphi i}^{(P)} = \begin{cases} C_{\varphi i} + C_{\vartheta i} & \text{при поверке в соответствии с п.I.4.3,} \\ 0,5 K_i & \text{при поверке в соответствии с п.I.4.2,} \end{cases}$

$C_{\varphi i}, C_{\vartheta i}$  - см. п.2.8.2,

$T_i^3, T_i^P, P_{\vartheta \varphi i}, N_i^3, N_i^P, \zeta_p, \zeta_R$  - см.пп.4.4 - 4.7.

4.9. Анализируют метрологические и экономические показатели всех альтернативных вариантов. Если в соответствии с п.І.3.4 экономические показатели не определялись, выбирают вариант, обеспечивающий минимум показателя  $\mathcal{F}$ . Если показатели  $\mathfrak{Z}$  оценены, выбирают наиболее рациональный вариант в соответствии с рекомендациями п.І.3.3.

4.10. Пример количественного обоснования поверочной схемы приведен в Приложении 2.

4.11. Количественное обоснование разрабатываемой поверочной схемы в соответствии с методикой, изложенной в настоящих рекомендациях, может быть проведено на ЭВМ.

## Приложение I

**РЕКОМЕНДАЦИИ**  
 по определению средних годовых затрат на эксплуатацию  
 эталонов  $C_3$

$$C_3 = P_3 + C_W + \dot{X} + \Gamma + \Phi ,$$

где  $P_3$  - заработка плата обслуживающего персонала за год, руб.,  
 $C_W$  - расходы на содержание оборудования, руб.,  
 $\dot{X}$  - затраты на электроэнергию, руб.,  
 $\Gamma$  - затраты на топливо, воду, инструменты и др. ресурсы, руб.  
 $\Phi$  - расходы на содержание и эксплуатацию зданий.

$$1. \quad P_3 = p \pi \left( 1 + \frac{H_{расх}}{100} \right) ,$$

где  $p$  - годовой фонд заработной платы одного поверителя соответствующей квалификации, руб.,  
 $\pi$  - норма обслуживания - отношение числа поверителей к числу обслуживаемых ими СИ,  
 $H_{расх}$  - процент накладных расходов. Рекомендуется принимать среднее по стране значение  $H_{расх}$ .

$$2. \quad C_W = \frac{KW}{100} ,$$

где  $K$  - стоимость (розничная цена) СИ, руб.,  
 $W$  - норматив годовых затрат на содержание, текущий ремонт и эксплуатацию оборудования, в процентах к его стоимости.  
 Рекомендуется принимать среднее по стране значение  $W$ .

$$3. \quad \dot{X} = N_M K_N t_p C_{эл} ,$$

где  $N_M$  - максимальная потребляемая СИ мощность, квт,  
 $K_N$  - средний коэффициент загрузки СИ по мощности,  
 $t_p$  - среднее время работы СИ за год, ч,  
 $C_{эл}$  - стоимость 1 квтч электроэнергии.

$$4. \quad \Gamma = t_p \sum_{l=1}^m c_{rl} \gamma_l,$$

где  $t_p$  - по п.3,

$\gamma_l$  - норма расхода ресурса (воды, топлива, инструмента и т.д.) на 1 ч работы СИ, в соответствующих единицах,

$c_{rl}$  - цена единицы расходуемого ресурса, руб,

$$5. \quad \Phi = S \cdot \rho,$$

где  $S$  - производственная площадь здания, связанная с эксплуатацией данного СИ,  $\text{м}^2$ ,

$\rho$  - средние затраты на содержание, текущий ремонт и эксплуатацию 1  $\text{м}^2$  производственной площади, руб/ $\text{м}^2$ .

## Приложение 2

Пример количественного обоснования  
проверочной схемы

Найдем наиболее рациональный вариант проверочной схемы, пред назначенной для передачи размера единицы рабочим СИ трех классов точности.

I. Исходные данные по парку рабочих СИ приведены в табл. I.

Таблица I

Класс точности, $s$	Предел допускаемой погрешности, $\Delta_s, \%$	Средняя производительность $P_s, изм/ч$	Межпроверочный интервал, $T_s, год$	Средний ущерб от забракования годного СИ, $C_{\phi_3}$ , тыс. руб.	Верхняя оценка числа СИ в стране $N_s^P$ , тыс. шт.
I	0,5	10	I	0,5	100
2	1,0	10	I	0,3	400
3	3,0	10	I	0,1	1000

2. Предлагаются к рассмотрению 4 альтернативных варианта структуры проверочной схемы, представленные на рис. I. Рабочим эталонам I-го разряда размер единицы передают от вторичного эталона, имеющего следующие характеристики: предел допускаемых значений СКО суммарной погрешности  $S_{\Sigma o} = 2 \cdot 10^{-4}$  при  $N_o = 10$  независимых измерениях, доверительные границы погрешности  $\delta_{\Sigma o} = 6,5 \cdot 10^{-4}$  при вероятности  $P_o = 0,99$ , производительность  $P_o = 40$  поверок в год,  $K_o = 50$  тыс. руб., годовые затраты на эксплуатацию  $C_{\Sigma o} = 10$  тыс. руб., предел допускаемых значений СКО погрешности метода поверки эталона I-го разряда составляет  $S_{Mo} = 2 \cdot 10^{-4}$ .

Характеристики СИ, которые могут быть использованы в качестве рабочих эталонов, указаны в табл. 2.

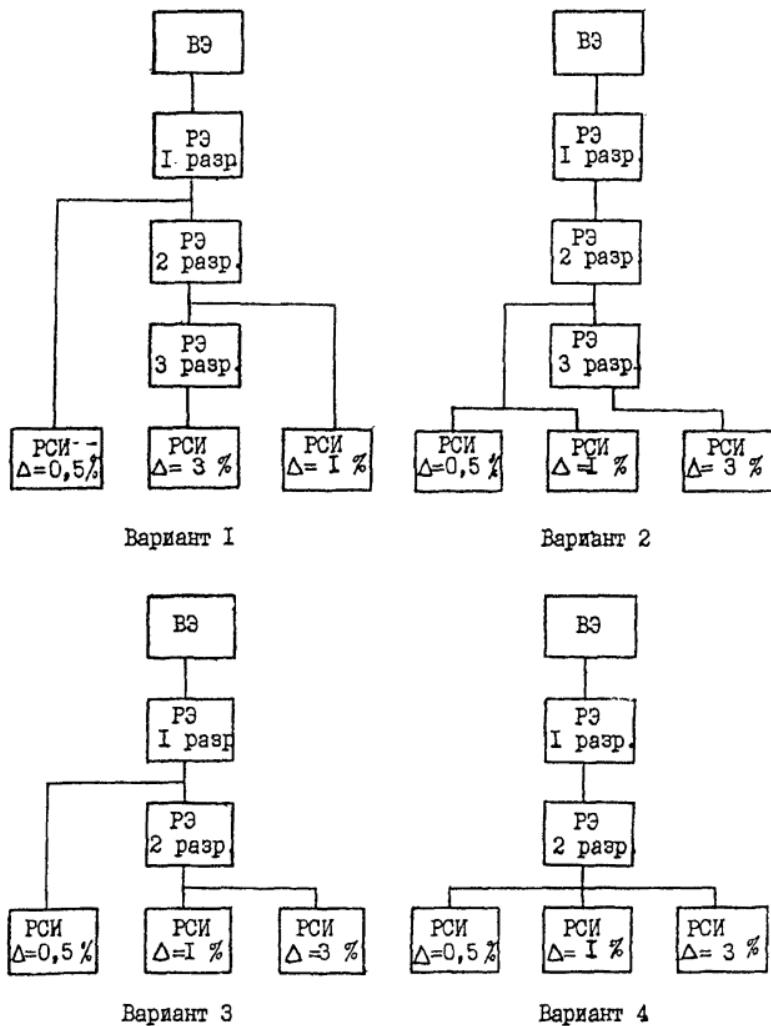


Рис. I. Альтернативные варианты структуры поверочной схемы

Таблица 2

Раз- ряд, <i>i</i>	Предел СКО СИ, <i>S<sub>i</sub></i>	Предел СКО помето- дом повер- ки, <i>S<sub>Mi</sub></i>	Предел допус- каемой нестаб., <i>V<sub>i</sub></i>	Число изме- рений при помет- ке, <i>n<sub>i</sub></i>	Межпо- вероч- ный интер- вал, <i>T<sub>i</sub></i> , год	Дове- рит. веро- ят- ность, <i>P<sub>i</sub></i>	Сред- няя про- извод- ств. СИ, <i>P<sub>i</sub></i> , год	Цена, тыс. руб.	Средние затраты на эксплуата- цию, <i>G<sub>i</sub></i> , тыс.руб
1	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1; 3 \cdot 10^{-3}$	5	I	0,95	200	5,0	2,0
2	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	5	I	0,95	200	2,0	1,5
3	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	3	I	0,95	200	1,0	1,0

Коэффициент экономической эффективности капитальных затрат  $E = 0,15$ . Требуется определить наиболее рациональный вариант структуры поверочной схемы и соответствующие ему характеристики погрешности рабочих эталонов, указываемые в поверочной схеме, а также необходимое число средств поверки  $N_i^3$ .

3. Определим требования к характеристикам погрешности рабочих эталонов.

Поскольку для этих эталонов нормируются пределы допускаемой нестабильности  $V_i$ , необходимо выбрать способ поверки, указанный в п. I.4.2. Для всех разрядов эталонов примем  $P_i = 0,95$  (в соответствии с МУ 2148-91) и  $P_{gt} = 1\%$ . Расчет метрологических характеристик ведем последовательно, начиная с самых точных эталонов.

### 3.1. Рабочие эталоны I-го разряда.

Коэффициент  $t_{\Sigma_0}$ , соответствующий распределению погрешности вторичного эталона, равен  $t_{\Sigma_0} = \frac{\delta_o}{S_{\Sigma_0}} = \frac{6,5 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-4}} = 3,25$ .

При  $P_1 = 0,95$  и  $\lambda_0 = 10$  коэффициент Стьюдента  $t(9,095) = 2,26$ .

В соответствии с (6)

$$\alpha_0 = \frac{2,26 \sqrt{\frac{3^2 + 2^2}{10}} \cdot 10^{-4}}{6,5 \cdot 10^{-4}} = 0,38$$

Из табл. I п.3 находим  $\alpha_1 = 1:2$ .

В соответствии с формулой (5)

$$V_{1min} = 6,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 1,3 \cdot 10^{-3}$$

В соответствии с п.3.5.3 принимаем

$$V_{1 \min} = 1,3 \cdot 10^{-3}, T_1 = 1 \text{ год.}$$

Оценим  $\delta_{\Sigma 1}$ .

Коэффициент Стьюдента  $t(4; 0,95) = 2,78$ ,

Коэффициент нормального распределения К(0,95) = 1,96.

По формулам (II) + (I3)

$$S_{\Sigma 1} = \sqrt{2^2 + \frac{13}{10} + \frac{3^2}{5} + \frac{13^2}{9}} \cdot 10^{-4} = 5,0 \cdot 10^{-4},$$

$$t_{\Sigma 1} = \frac{6,5 + 2,26 \sqrt{\frac{13}{10}} + 2,78 \sqrt{\frac{13}{5}} + 1,96 \sqrt{\frac{13}{9}}}{2 + \sqrt{\frac{13}{10}} + \sqrt{\frac{13}{5}} + \sqrt{\frac{13}{9}}} = 2,46,$$

$$\delta_{\Sigma 1} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 2,46 = 1,23 \cdot 10^{-3} \approx 0,12 \%,$$

### 3.2. Рабочие эталоны 2-го разряда

$$\alpha_1 = \frac{2,78 \sqrt{\frac{10^2 + 5^2}{5}} \cdot 10^{-4}}{1,2 \cdot 10^{-4}} = 1,1.$$

Из таблицы I п.3 находим  $\alpha_2 = 1:3$

В соответствии с формулой (5)

$$V_{2 \min} = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 3,6 \cdot 10^{-3}$$

В соответствии с п.3.5.3 принимаем

$$V_2 = 3,6 \cdot 10^{-3}, T_2 = 1 \cdot 3,6 : 3,3 \approx 1 \text{ год.}$$

Оценим  $\delta_{\Sigma 2}$

$$S_{\Sigma 2} = \sqrt{0,5^2 + \frac{1,04}{5} + \frac{1}{5} + \frac{3,6^2}{9}} \cdot 10^{-3} \approx 1,4 \cdot 10^{-3},$$

$$t_{\Sigma 2} = \frac{1,2 + 2,78 (\sqrt{\frac{1,04}{5}} + \sqrt{\frac{1}{5}}) + 1,96 \sqrt{\frac{3,6^2}{9}}}{0,5 + \sqrt{\frac{1,04}{5}} + \sqrt{\frac{1}{5}} + \frac{3,6}{3}} = 2,33,$$

$$\delta_{\Sigma 2} = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2,33 = 3,26 \cdot 10^{-3} \approx 0,3 \%.$$

3.3. Рабочие эталоны 3-го разряда

$$\alpha_3 = \frac{2,78 \sqrt{\frac{4^2+0,5^2}{5}} \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} = 1,7.$$

Из табл. I находим  $\alpha_3 = 1:5$ .

В соответствии с формулой (5)

$$V_{3min} = 0,3.5 = 1,5\%.$$

В соответствии с п. 3.5.3 принимаем

$$V_3 = 1,5\%, \quad T_3 = 1 \cdot \frac{1,5}{1} = 1,5 \text{ года.}$$

Таким образом, для рабочих эталонов 3-го разряда рекомендуется устанавливать предел допускаемой нестабильности  $V_3 = 1,5\%$  и межповерочный интервал  $T_3 = 1,5$  года (при параметрах, указанных в таблице 2, невозможно обеспечить достоверность поверки этих эталонов).

Определим  $\delta_{\Sigma 3}$ .

$$S_{\Sigma 3} = \sqrt{1,4^2 + \frac{4^2+0,5^2}{5} + \frac{4^2}{3} + \frac{15^2}{9} \cdot 10^{-3}} = 6,0 \cdot 10^{-3},$$

$$t_{\Sigma 3} = \frac{3 + 2,78 \sqrt{\frac{4^2+0,5^2}{5}} + 4,3 \cdot \frac{4}{\sqrt{3}} + 1,96 \cdot \frac{15}{3}}{1,4 + \sqrt{\frac{4^2+0,5^2}{5}} + \frac{4}{\sqrt{3}} + \frac{15}{3}} = 2,6,$$

$$\tilde{\delta}_{\Sigma 3} = 6,0 \cdot 10^{-3} \cdot 2,6 = 15,6 \cdot 10^{-3} \approx 1,5\%.$$

4. Определим показатели качества поверки рабочих СИ для каждого варианта поверочной схемы

4.1. Вариант I

В соответствии с п. 3.6

$$\alpha_1 = \frac{\delta_{\Sigma 1}}{\Delta_1} = \frac{0,12}{0,5} \approx \frac{1}{4}, \quad \gamma_1 = 0,8,$$

$$\alpha_2 = \frac{\delta_{\Sigma 2}}{\Delta_2} = \frac{0,3}{1} \approx \frac{1}{3}, \quad \gamma_2 = 0,8,$$

$$\alpha_3 = \frac{\delta_{\Sigma 3}}{\Delta_3} = \frac{1,5}{3} = \frac{1}{2}, \quad \gamma_3 = 0,8$$

При этих значениях  $\alpha_i$  и  $\gamma_i$  по таблицам I и 2 МИ 188-86 получим  
 $P_{\text{бам}1} = 0,003$ ,  $P_{\text{бам}2} = 0,05$ ,  $P_{\text{бам}3} = 0,08$ ,  
 $P_{\text{гр}1}^P = 0,036$ ,  $P_{\text{гр}2}^P = 0,047$ ,  $P_{\text{гр}3}^P = 0,11$ .

#### 4.2. Вариант 2

$$\alpha_1 = \frac{\delta_{\Sigma 2}}{\Delta_1} = \frac{0,3}{0,5} = 0,6, \quad \alpha_2 = \frac{\delta_{\Sigma 2}}{\Delta_2} = \frac{0,3}{1} = \frac{1}{3}, \quad \alpha_3 = \frac{\delta_{\Sigma 3}}{\Delta_3} = \frac{1,5}{3} = \frac{1}{2},$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0,8.$$

По таблице I МИ 188-86 находим при  $\gamma = 0,8$   
 $P_{\text{бам}1} = 0,08$  для  $\alpha = 0,4$  и  $P_{\text{бам}2} = 0,13$  для  $\alpha = 0,5$ .

В соответствии с п.4.4.3

$$P_{\text{бам}1} = 0,13 + (0,6-0,5) \frac{0,13-0,08}{0,5-0,4} = 0,18.$$

По таблице 2 МИ 188-86 при  $P_{\text{бам}1} = 0,18$  находим

$P_{\text{гр}1}^P = 0,019$  для  $\alpha = 0,4$  и  $P_{\text{гр}2}^P = 0,052$  для  $\alpha = 0,5$ . Тогда  
 $P_{\text{гр}1}^P = 0,052 + (0,6-0,5) \frac{0,952-0,019}{0,5-0,4} = 0,085$ .

Аналогично п.4.1

$$P_{\text{бам}2} = 0,05, \quad P_{\text{бам}3} = 0,08,$$

$$P_{\text{гр}2}^P = 0,047, \quad P_{\text{гр}3}^P = 0,11.$$

#### 4.3. Вариант 3

$$\alpha_1 = \frac{\delta_{\Sigma 1}}{\Delta_1} \approx \frac{1}{4}, \quad \alpha_2 = \frac{\delta_{\Sigma 2}}{\Delta_2} \approx \frac{1}{3}, \quad \alpha_3 = \frac{\delta_{\Sigma 2}}{\Delta_3} = \frac{0,3}{3} = \frac{1}{10},$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0,8,$$

$P_{\text{бам}1} = 0,03$ ,  $P_{\text{бам}2} = 0,05$ ,  $P_{\text{бам}3} = 0$ ,  
 $P_{\text{гр}1}^P = 0,036$ ,  $P_{\text{гр}2}^P = 0,047$ ,  $P_{\text{гр}3}^P = 0$ .

## 4.4. Вариант 4

$$\alpha_1 = \frac{\delta_{\Sigma 2}}{\Delta_1} = 0,6, \quad \alpha_2 = \frac{\delta_{\Sigma 2}}{\Delta_2} \approx \frac{1}{3}, \quad \alpha_3 = \frac{\delta_{\Sigma 2}}{\Delta_3} = \frac{1}{10},$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0,8,$$

$$P_{\text{баз}_1} = 0,18, \quad P_{\text{баз}_2} = 0,05, \quad P_{\text{баз}_3} = 0, \\ P_{\text{гл}_1} = 0,085, \quad P_{\text{гл}_2} = 0,047, \quad P_{\text{гл}_3} = 0.$$

5. Определим для каждого варианта поверочной схемы число вторичных и рабочих эталонов. Формула (18) в данном случае примет следующий вид

$$N_i^3 = \left[ \frac{N_i^3}{T_i^3 \pi_i^3} + \frac{N_i^P}{T_i^P \pi_i^P} \right],$$

где  $[x]$  - ближайшее к  $x$  целое число, большее  $x$ .

Найдем  $N_i^3$ , идя "снизу вверх" - от 3-го разряда к вторичному эталону.

## 5.1. Вариант № I.

$$N_3^3 = \left[ \frac{10^6}{200 \cdot 1} \right] = 5 \cdot 10^{-3},$$

$$N_2^3 = \left[ \frac{5000}{1,5 \cdot 200} + \frac{4 \cdot 10^5}{1 \cdot 200} \right] = 2017,$$

$$N_1^3 = \left[ \frac{2017}{1 \cdot 200} + \frac{10^5}{1 \cdot 200} \right] = 511,$$

$$N_0^3 = \left[ \frac{511}{1 \cdot 40} \right] = 13.$$

## 5.2. Остальные варианты

Числа  $N_i^3$  вариантов представлены в табл.3.

Таблица 3

№ вар	$M_0^3$ , шт	$M_1^9$ , шт	$M_2^3$ , шт	$M_3^3$ , шт	$F$	3, млн.руб.
1	13	511	2017	5000	0,045	29,1
2	1	13	2517	5000	0,11	30,9
3	14	535	7000	-	0,035	21,9
4	1	38	7500	-	0,10	23,7

Ограничений на количество вторичных и рабочих эталонов нет. Поэтому все варианты остаются для дальнейшего рассмотрения.

### 6. Показатели эффективности вариантов

#### 6.1. Метрологический показатель $F$

В соответствии с формулой (II)

$$F = \frac{\sum_{s=1}^3 P_{бамs} \frac{N_s^P \Pi_s}{\Delta_s^2}}{\sum_{s=1}^3 \frac{N_s^P \Pi_s}{\Delta_s^2}},$$

$$F_1 = \frac{0,03 \cdot \frac{10^5 \cdot 10}{0,25} + 0,05 \cdot \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 10}{1} + 0,08 \cdot \frac{10^6 \cdot 10}{9}}{\frac{10^5 \cdot 10}{0,25} + \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 10}{1} + \frac{10^6 \cdot 10}{9}} = \\ = \frac{0,03 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,08 \cdot \frac{10}{9}}{9,1} = 0,045,$$

$$F_2 = \frac{0,18 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,08 \cdot \frac{10}{9}}{9,1} = 0,11,$$

$$F_3 = \frac{0,03 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0 \cdot \frac{10}{9}}{9,1} = 0,035,$$

$$F_4 = \frac{0,18 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0 \cdot \frac{10}{9}}{9,1} = 0,10.$$

### 6.2. Экономический показатель З

В соответствии с формулой (19) для варианта I

$$\begin{aligned} Z_{11} &= E \sum_{i=0}^3 K_i N_i^3 = 0,15 (50.13 + 5.5II + 2.20I7 + 0.5.5000) = \\ &= 0,15.9738 = 1460 \text{ тыс.руб.}, \end{aligned}$$

$$Z_{21} = \sum_{i=0}^8 C_{gi} N_i^3 = 10.13 + 2.5II + 1.5.20I7 + 5000 \approx 9180 \text{ тыс.руб.},$$

$$Z_{31} = \sum_{i=1}^3 P_{gr,i}^3 C_{\phi i} \frac{N_i^3}{T_i^3} + \sum_{s=1}^3 P_{gr,s}^P C_{\phi s} \frac{N_s^P}{T_s^P}.$$

В соответствии с п.3 для рабочих эталонов  $P_{gr,i}^3 = 0,01$ ,  $i=1,2,3$ .

С учетом п.4.8 имеем

$$\begin{aligned} Z_{31} &= 0,01 \cdot \left( \frac{5}{1} \cdot 5II + \frac{2}{1} \cdot 20I7 + \frac{0,5}{1,5} \cdot 5000 \right) + (0,036 \cdot 0,5 \cdot 10^5 + 0,047 \cdot \\ &\quad 0,3 \cdot 4 \cdot 10^5 + 0,11 \cdot 0,1 \cdot 10^6) = 52 + 18440 \approx 18500 \text{ тыс.руб.}, \end{aligned}$$

$$Z = Z_{11} + Z_{21} + Z_{31} = 29140 \text{ тыс.руб.}$$

Для 2-го варианта схемы

$$Z_{12} = 1150 \text{ тыс.руб.}; \quad Z_{22} = 8810 \text{ тыс.руб.}; \quad Z_{32} = 20960 \text{ тыс.руб.},$$

$$Z_2 = 30920 \text{ тыс.руб.}$$

Для 3-го варианта схемы

$$Z_{13} = 2570 \text{ тыс.руб.}, \quad Z_{23} = 11710 \text{ тыс.руб.}, \quad Z_{33} = 7600 \text{ тыс.руб.},$$

$$Z_3 = 21880 \text{ тыс.руб.}$$

Для 4-го варианта схемы

$$Z_{14} = 2290 \text{ тыс.руб.}, \quad Z_{24} = 11340 \text{ тыс.руб.}, \quad Z_{34} = 10050 \text{ тыс.руб.},$$

$$Z_4 = 23680 \text{ тыс.руб.}$$

## 7. Выводы, выбор наиболее рационального варианта поверочной схемы

Анализ результатов расчета показывает, что наилучшим вариантом поверочной схемы из рассмотренных является 3-й вариант, который обеспечивает наилучшее качество поверки рабочих СИ ( $F_3 = 0,035$ , что означает, что усредненная по всему парку рабочих СИ максимальная вероятность принятия негодного СИ в качестве годного составляет 3,5 %) и минимальные народно-хозяйственные затраты на обеспечение единства измерений ( $Z_3 = 21,9$  млн.руб.).

2-й вариант обеспечивает минимальные затраты на создание и поддержание в эксплуатации эталонов (10 млн.руб. по сравнению с 14,3 млн. руб. при 3-м варианте), однако при этом потери из-за ошибочного забракования годных СИ возрастают на 13 млн.руб., да и  $F_4$  в 5 раз больше, чем  $F_3$ .

Поэтому в основу разрабатываемой поверочной схемы целесообразно положить 3-й вариант.



## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

- |   |   |
|---|---|
| 1. РАЗРАБОТАНА И ВНЕСЕНА                      | НПО "ВНИИМ им.Д.И.Менделеева"                                 |
| 2. ИСПОЛНИТЕЛИ                                | А.Э.Фридман, канд.техн.наук (руководитель темы),<br>В.А.Деров |
| 3. УТВЕРЖДЕНА                                 | НПО "ВНИИМ им.Д.И.Менделеева"                                 |
| 4. ЗАРЕГИСТРИРОВАНА                           | ВНИИМС, 30 октября 1992 г.                                    |
| 5. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ |   |

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта
МИ I848-91	I.1
ГОСТ 8.381-80	2.3
МИ I87-86	2.4
МИ I88-86	4.4