

К. т. н. А. А. ЕФИМЕНКО, к. т. н. В. Б. ТКАЧЕНКО

Украина, г. Одесса

Дата поступления в редакцию
14.04 1998 г.

Оппонент д. т. н. Л. С. ЛУТЧЕНКОВ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ РЭС

Предложена методика, позволяющая достаточно просто учитывать звенья-зазоры. Сделан вывод о существенном их влиянии на предельные отклонения замыкающих звеньев.

The procedure, allowing to take into account links-clearanced has been proposed. A conclusion about essential influence on limit declination of locking links has been done.

Точность изготовления деталей и сборочных единиц несущих конструкций (НК) определяет не только их взаимозаменяемость в процессе сборки, но и функциональную взаимозаменяемость радиоэлектронных средств (РЭС). Это накладывает определенные требования к точности проектирования и изготовления НК.

Взаимозаменяемость элементов несущих конструкций может обеспечиваться различными методами [1, 2], однако в современных условиях производства РЭС полная взаимозаменяемость должна обеспечиваться уже на уровне деталей и сборочных единиц, входящих в другие сборочные единицы. Это связано с тем, что элементы НК чаще всего изготавливаются независимо, и для производителей РЭС являются покупными, а на места сборки и эксплуатации могут поставляться в разобранном виде.

В силу сказанного анализ точности и расчеты размерных цепей должны быть выполнены так, чтобы исключить возможные неучтенные звенья.

В практике разработки сборочных единиц НК для РЭС иногда возникают ситуации, когда взаимозаменяемость не обеспечивается, несмотря на то, что расчет размерных цепей выполнен по методу максимума-минимума, который должен обеспечивать полную взаимозаменяемость [1]. Особенно это ощутимо при наличии значительного количества соединений винтами, болтами, заклепками. Можно предположить, что это связано с существованием неучитываемых размерных звеньев и допусков.

Целью настоящей работы является анализ линейных сборочных размерных цепей и разработка методики их расчета, которая позволяет учитывать все звенья размерных цепей и повышает точность вычислений без значительного увеличения их объема.

Проведем анализ точности известных методов расчета сборочных размерных цепей для двух типовых случаев использования механического соединения двух деталей.

1. Расчет сборочной размерной цепи из двух деталей, соединяемых в одной точке.

Первый вариант.

На обеих деталях крепежные отверстия без резьбы (крепление деталей винтами или болтами с гайками, заклепками; **рис. 1**). Здесь A_{Δ} — замыкающий размер, образующийся в результате сборки узла; $\Delta_1/2$ и $\Delta_2/2$ — зазоры между валом (винтом, болтом и др.) и отверстиями деталей 1 и 2, соответственно.

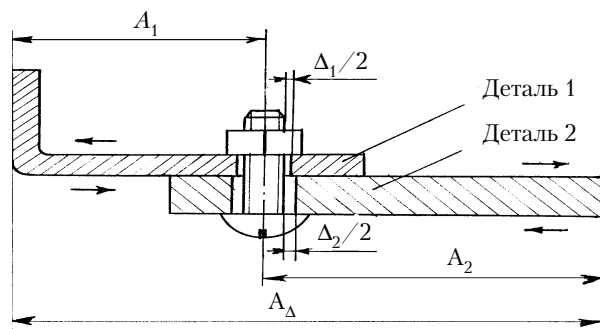
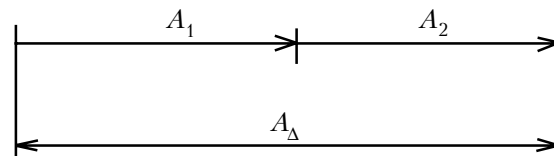


Рис. 1. Конструктивная схема узла с соединением в одной точке

Схема размерной цепи этого узла имеет следующий вид:



Ее уравнение: $A_{\Delta} = A_1 + A_2$.

При расчете такой сборочной размерной цепи часто не учитывают возможное смещение деталей из-за зазоров $\Delta_1/2$ и $\Delta_2/2$. Однако оно может быть существенным, т. к. указанные зазоры образуются не только за счет разницы в диаметрах вала и отверстия, устанавливаемой исходя из служебного назначения соединения, но и за счет предельных отклонений этих диаметров.

Таким образом, точный расчет приведенной сборочной размерной цепи должен обязательно учитывать возможное смещение осей отверстий за счет сдвига деталей. На **рис. 2** представлен случай сдвига деталей 1 и 2 внутрь. Здесь e — максимальное смещение осей отверстий; e_1, e_2 — максимальное смещение оси отверстия соответственно деталей 1 и 2 относительно оси крепежной детали.

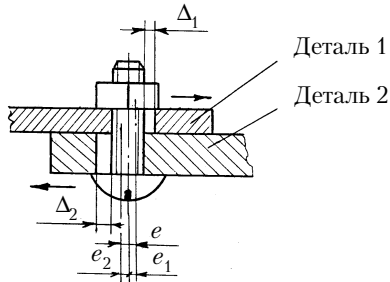
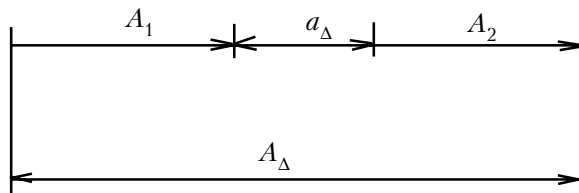


Рис. 2. Расположение деталей при их максимальном сдвиге внутрь

Для учета такого смещения используем существующее понятие «звенно-зазор» [1, 2], которое и введем в схему размерной цепи, обозначив a_{Δ} :



Используем конструктивную разновидность звена-зазора, когда он может выбираться в одну и в другую стороны. Такая разновидность характерна для несущих конструкций РЭС.

Тогда уравнение размерной цепи примет вид $A_{\Delta} = A_1 + A_2 \pm a_{\Delta}$.

Это уравнение будет справедливым, если считать, что номинальное значение размера звена-зазора равно нулю. Знак „±“ у размера a_{Δ} указывает на то, что он может быть увеличивающим для расчета верхнего предельного отклонения замыкающего звена и уменьшающим — для расчета нижнего.

Определим предельные отклонения звена-зазора. Они симметричны и равны $\pm e$. При этом

$$e = e_1 + e_2 = \Delta_1 / 2 + \Delta_2 / 2 \quad (1)$$

Как было отмечено ранее, максимальные зазоры состоят из нескольких составляющих:

$$\Delta_1 = \Delta_{\Delta 1} + \Delta_{\Delta B 1} + \Delta_{\Delta H 3} \quad (2)$$

$$\Delta_2 = \Delta_{\Delta 2} + \Delta_{\Delta B 2} + \Delta_{\Delta H 3} \quad (3)$$

где $\Delta_{\Delta 1}, \Delta_{\Delta 2}$ — разность номинальных значений диаметра отверстия соответственно деталей 1, 2 и диаметра вала;

$\Delta_{\Delta B 1}, \Delta_{\Delta B 2}$ — верхние предельные отклонения диаметров отверстий деталей 1 и 2, соответственно;

$\Delta_{\Delta H 3}$ — нижнее предельное отклонение диаметра вала (абсолютное значение).

Таким образом, прежде чем рассчитывать сборочную размерную цепь такого типа, необходимо выявить наличие и рассчитать допуски и предельные отклонения звеньев-зазоров, являющихся своего рода дополнительными замыкающими звеньями.

Из рис. 1, 2 видно, что допуск звена-зазора при решении размерной цепи методом максимума-минимума равен

$$\delta_{\Delta 3} = 2e \quad (4)$$

С учетом (1)

$$\delta_{\Delta 3} = 2(e_1 + e_2) = \Delta_1 + \Delta_2$$

или, принимая во внимание (2), (3),

$$\delta_{\Delta 3} = \Delta_{\Delta 1} + \Delta_{\Delta 2} + \Delta_{\Delta B 1} + \Delta_{\Delta B 2} + 2\Delta_{\Delta H 3} \quad (5)$$

При одинаковых диаметрах отверстий и допусках на них на обеих деталях

$$\delta_{\Delta 3} = 2(\Delta_{\Delta} + \Delta_{\Delta B} + \Delta_{\Delta H 3}) \quad (6)$$

где Δ_{Δ} — разность номинальных значений диаметров отверстий и вала;

$\Delta_{\Delta B}$ — верхнее предельное отклонение диаметра отверстий.

С учетом сказанного ранее величины нижнего и верхнего предельных отклонений звена-зазора будут равны

$$\Delta_{\Delta 3 H} = \Delta_{\Delta 3 B} = \delta_{\Delta 3} / 2 \quad (7)$$

Таким образом, величину звена-зазора можно выразить так:

$$a_{\Delta} = 0 \pm \delta_{\Delta 3} / 2 \quad (8)$$

При расчете этой же размерной цепи теоретико-вероятностным методом используем для расчета допуска звена-зазора формулу [3, (68)] для наиболее распространенного исходного случая.

Тогда для случая разных диаметров отверстий на деталях 1 и 2

$$\delta_{\Delta 3} = \sqrt{\Delta_{\Delta 1}^2 + \Delta_{\Delta 2}^2 + \Delta_{\Delta B 1}^2 + \Delta_{\Delta B 2}^2 + 2\Delta_{\Delta H 3}^2} \quad (9)$$

для случая одинаковых диаметров отверстий

$$\delta_{\Delta 3} = \sqrt{2(\Delta_{\Delta}^2 + \Delta_{\Delta B}^2 + \Delta_{\Delta H 3}^2)} \quad (10)$$

Здесь также применимы выражения (7) и (8).

Второй вариант.

На одной из деталей имеется резьба (т. е. используется крепление винтом или болтом без применения гайки; **рис. 3**).

В этом случае $e = e_1 = \frac{\Delta_1}{2}$.

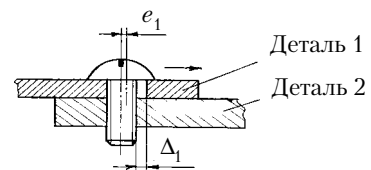


Рис. 3. Расположение деталей при максимальном сдвиге одной из них

Допуск звена-зазора с учетом (4) равен: при решении на максимум-минимум

$$\delta_{\Delta 3} = \Delta_1 = \Delta_{\Delta 1} + \Delta_{\Delta B1} + \Delta_{\Delta H3}; \quad (11)$$

при решении теоретико-вероятностным методом

$$\delta_{\Delta 3} = \sqrt{\Delta_{\Delta 1}^2 + \Delta_{\Delta B1}^2 + \Delta_{\Delta H3}^2}. \quad (12)$$

Выражения (7) и (8) применимы и в этом случае.

2. Расчет сборочной размерной цепи из двух деталей, соединяемых в двух точках.

Рассчитывая допуски и предельные отклонения размеров между осями отверстий соединяемых деталей при двух или более крепежных элементах, исходят из условия собираемости этих двух деталей [1]. При этом рассчитанные зависимые допуски на расстояния между осями отверстий используют и при расчете сборочных размерных цепей. Однако это является недостаточным.

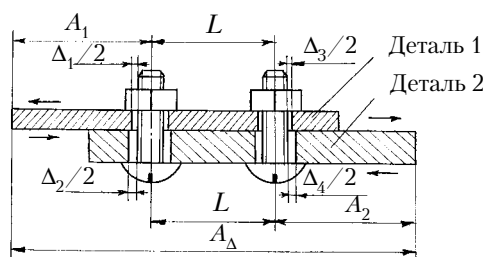
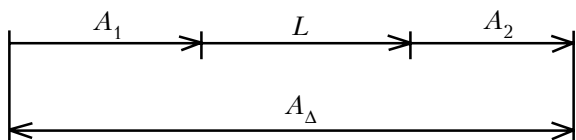


Рис. 4. Конструктивная схема узла с соединением в двух точках

Рассмотрим случай, когда допуски на обеих соединяемых деталях совпадают (рис. 4). Схема размерной цепи выглядит следующим образом:



Анализ такого соединения показывает, что вариант, когда значения предельных отклонений на размер L на деталях 1 и 2 совпадают, представляет собой наихудший случай с точки зрения точности выполнения сборочной единицы. Это объясняется тем, что кроме допуска на расстояние между осями двух отверстий существуют зазоры ($\Delta_1/2, \dots, \Delta_4/2$), в пределах которых детали могут перемещаться одна относительно другой. На рис. 5 представлен случай смещения деталей наружу.

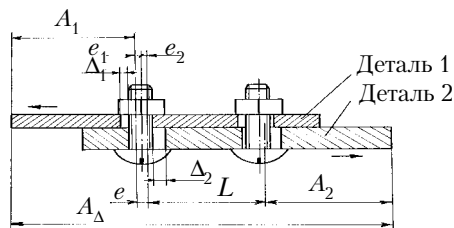
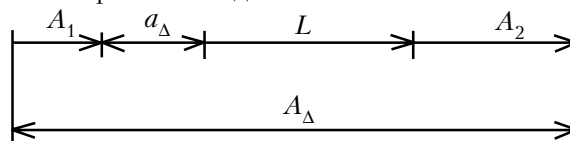


Рис. 5. Расположение деталей при их максимальном смещении наружу

Как и в предыдущем случае (рис. 2), здесь также существует звено-зазор a_{Δ} и схема размерной цепи теперь имеет вид



Расчет звена-зазора в такой схеме имеет следующие особенности.

1) При наличии двух и более зависимых мест крепления двух деталей считается, что звено-зазор одно.

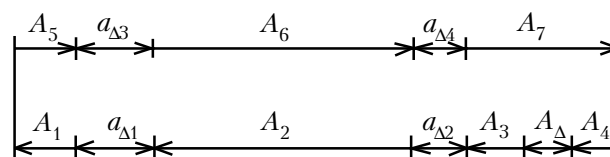
2) Если отверстия, валы и их предельные отклонения разные, то при расчете $e = e_1 + e_2$ (где e_1 и e_2 — смещение крепежного элемента относительно оси отверстия детали 1 и 2, соответственно) из пары отверстий каждой детали выбирается то, которое имеет меньшее значение Δ с учетом допусков на отверстия и вал в соответствии с (2) и (3). Например, для рассматриваемого варианта выбираются левые отверстия, если $\Delta_1 < \Delta_3$ и $\Delta_2 < \Delta_4$ для деталей 1 и 2, соответственно.

Для расчета допусков и предельных отклонений звена-зазора используются те же формулы, что и для случая соединения деталей в одной точке: при решении методом на максимум-минимум — (5), (6), (7), (11); при решении теоретико-вероятностным методом — (7), (9), (10), (12).

Пример расчета

На рис. 6 в виде поперечного сечения представлен электронный модуль второго уровня (ЭМ-2) типа каскады. Здесь необходимо обеспечить надежный электрический контакт розетки, принадлежащей электронному модулю первого уровня (ЭМ-1), и вилки, установленной на объединительной плате. Недосочленение вилки с розеткой не должно превышать заданной в ТУ на соединители величины (допустим, 2 мм). С другой стороны, для того, чтобы не было механической нагрузки на соединители и объединительную плату, лицевая панель ЭМ-1 должна коснуться передних траверс раньше, т. е. прежде чем произойдет полное сочленение вилки и розетки.

Схема размерной цепи:



С учетом приведенных выше требований к сочленению соединителей, а значит к замыкающему размеру, принимаем $A_{\Delta} = 1_{-0,8}^{+1,0}$ мм.

Решение предложенной размерной цепи произведем двумя методами: на максимум-минимум и теоретико-вероятностным с использованием предложенной методики по учету звеньев-зазоров. Задачу решим как обратную, т. е. определим номинальное значение, допуск и предельные отклонения замыкающего звена по номиналь-

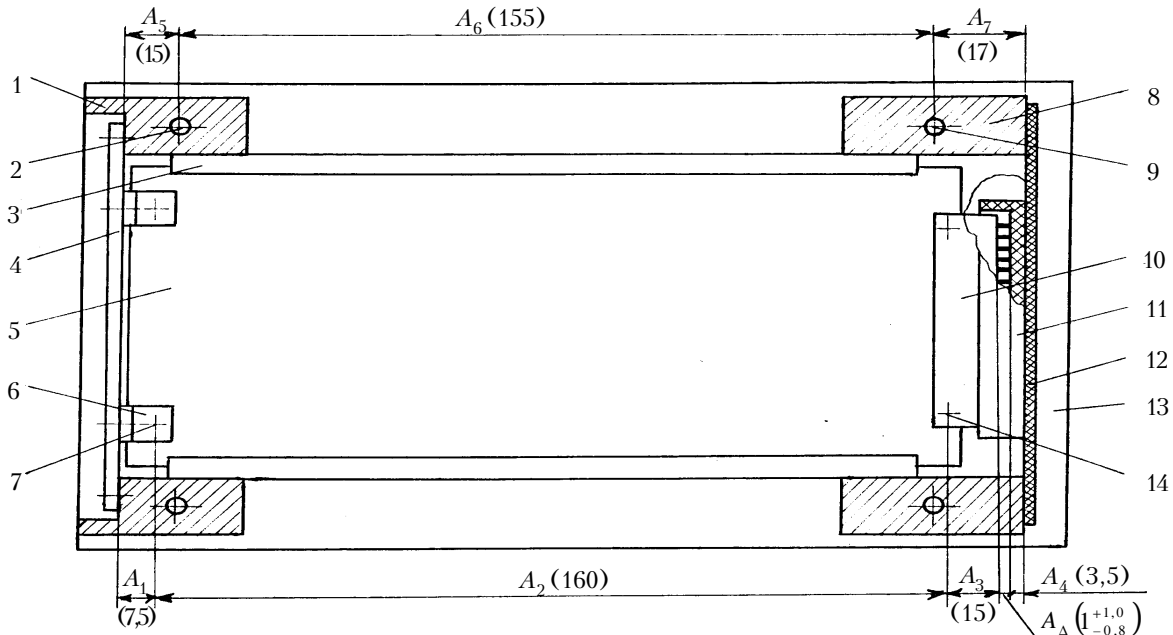


Рис. 6. Конструктивная схема ЭМ-2:

1 — траверса передняя; 2, 9 — крепление «винт в деталь»; 3 — направляющая; 4 — панель лицевая; 5 — плата печатная; 6 — кронштейн; 7, 14 — крепление «винт-гайка»; 8 — траверса задняя; 10 — розетка; 11 — вилка; 12 — плата объединительная; 13 — стенка корпуса кассеты

ным значениям размеров звеньев цепи (указаны в скобках на рис. 6) и их предельным отклонениям.

Уравнение размерной цепи:

$$A_5 + A_6 + A_7 - A_1 - A_2 - A_3 - A_4 = A_\Delta$$

(Звенья-зазоры в уравнение не включаем, т. к. их номинальные значения равны нулю.)

$$A_\Delta = 15 + 155 + 17 - 7,5 - 160 - 15 - 3,5 = 1 \text{ мм,}$$

следовательно, номинальные размеры установлены правильно.

Значения предельных отклонений составляющих звеньев возьмем из результатов решения прямой задачи этой же размерной цепи без учета звеньев-зазоров. Для расчета использовался способ назначения допусков одного квалитета точности по стандарту допусков и посадок [3, с. 115].

1. Расчет размерной цепи по методу максимума-минимума (в мм).

Рассчитанные предельные отклонения (решение прямой задачи без учета звеньев-зазоров):

$$A_1 = 7,5 \pm 0,075; \quad A_5 = 15 \pm 0,09;$$

$$A_2 = 160 \pm 0,2; \quad A_6 = 155 \pm 0,2;$$

$$A_3 = 15_{-0,18}; \quad A_7 = 17 \pm 0,09.$$

$$A_4 = 3,5_{-0,12};$$

Проверка назначения допусков подтверждает их правильность, т. к.

$$\delta_\Delta = \sum_{i=1}^n \delta_i = 1,61$$

меньше заданного значения 1,8.

Проверка установления предельных отклонений по формулам [3, (60) и (61)] также подтверждает их правильность:

$$\Delta_{\Delta B} = 0,955 < 1,0;$$

$$\Delta_{\Delta H} = |-0,655| < |-0,8|.$$

Таким образом, размерная цепь составлена правильно, т. к. удовлетворяет условию взаимозаменяемости.

Теперь произведем расчет размерной цепи с учетом звеньев-зазоров, составляющие размеры которых следующие:

для $a_{\Delta 1}$ и $a_{\Delta 2}$

$$D_{\text{отв1}} = D_{\text{отв2}} = \varnothing 2,7^{+0,1};$$

$$D_{\text{винта}} = \varnothing 2,5_{-0,1};$$

для $a_{\Delta 3}$ и $a_{\Delta 4}$

$$D_{\text{отв1}} = \varnothing 4,2^{+0,12};$$

$$D_{\text{винта}} = \varnothing 4_{-0,1}.$$

Рассчитаем допуски и предельные отклонения звеньев-зазоров:

для $a_{\Delta 1}$ и $a_{\Delta 2}$ по формуле (6) $\delta_{\Delta 3} = 0,8$;

$$\text{по (7) } - \Delta_{\Delta 3H} = \Delta_{\Delta 3B} = 0,4;$$

для $a_{\Delta 3}$ и $a_{\Delta 4}$ по (11) — $\delta_{\Delta 3} = 0,42$;

$$\text{по (7) } - \Delta_{\Delta 3H} = \Delta_{\Delta 3B} = 0,21.$$

Предельные отклонения замыкающего звена, рассчитанные по формулам [3, (60) и (61)]:

$$\Delta_{\Delta B} = 2,175; \quad \Delta_{\Delta H} = -1,875.$$

Таким образом, $A_\Delta = 1_{-1,875}^{+2,175}$, что не обеспечивает нормального сочленения вилки и розетки.

2. Расчет размерной цепи теоретико-вероятностным методом (в мм).

Рассчитанные предельные отклонения (решение прямой задачи без учета звеньев-зазоров):

$$\begin{aligned} A_1 &= 7,5^{+0,36}; & A_5 &= 15 \pm 0,215; \\ A_2 &= 160 \pm 0,5; & A_6 &= 155 \pm 0,5; \\ A_3 &= 15_{-0,43}; & A_7 &= 17 \pm 0,215. \\ A_4 &= 3,5_{-0,25}; \end{aligned}$$

Проверка назначения допусков и предельных отклонений составляющих звеньев подтверждает их правильность:

$$\delta_{\Delta} = 1,64; \Delta_{\Delta B} = 0,98; \Delta_{\Delta 3H} = -0,66.$$

Как и в предыдущем случае, произведем расчет размерной цепи с учетом звеньев-зазоров.

Рассчитаем допуски и предельные отклонения звеньев-зазоров:

для $a_{\Delta 1}$ и $a_{\Delta 2}$ по формуле (10) $\delta_{\Delta 3} = 0,35$;

по (7) — $\Delta_{\Delta 3H} = \Delta_{\Delta 3B} = 0,175$;

для $a_{\Delta 3}$ и $a_{\Delta 4}$ по (12) — $\delta_{\Delta 3} = 0,25$;

по (7) — $\Delta_{\Delta 3H} = \Delta_{\Delta 3B} = 0,125$.

Результаты расчета предельных отклонений замыкающего звена по формулам [3, (69) и (70)]:

$$\Delta_{\Delta B} = 1,21;$$

$$\Delta_{\Delta H} = -0,89 \text{ или } A_{\Delta} = 1_{-0,89}^{+1,21}.$$

Как и в предыдущем случае, условия нормального сочленения соединителей не обеспечиваются.

Рассмотренный пример дает возможность наглядно продемонстрировать важность учета звеньев-зазоров для обеспечения взаимозаменяемости сборочных единиц при расчете размерных цепей двумя методами.

Таким образом, звенья-зазоры существенно влияют на значения предельных отклонений замыкающих звеньев и их необходимо учитывать для обеспечения взаимозаменяемости при заданных условиях. Для снижения влияния звеньев-зазоров необходимо:

— уменьшать до предела зазор между отверстием и валом (крепежным элементом) с учетом их допусков;

— использовать такое соединения деталей, когда на одной из них имеется резьба;

— в случае крепления деталей в двух и более местах предыдущие рекомендации достаточно выполнить для одного места крепления.

Разработанная методика позволяет достаточно просто учитывать все звенья размерной цепи, в том числе и звенья-зазоры. Это увеличивает точность расчетов и, следовательно, повышает уровень взаимозаменяемости сборочных единиц несущих конструкций РЭС.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Якушев А. И., Валединский А. С., Воробьев Ю. А. и др. Взаимозаменяемость в машиностроении и приборостроении / Под. ред. А. И. Якушева. — М. : Изд-во Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1970.

2. Бондаренко С. Г., Чередников О. Н., Губий В. П., Игнатцев Т. М. Размерный анализ конструкций: Справочник / Под общей ред. С. Г. Бондаренко. — К. : Техніка, 1989.

3. Тищенко О. Ф., Валединский А. С. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. — М. : Машиностроение, 1977.

ЧИТАТЕЛЬ ЗАИНТЕРЕСОВАЛСЯ

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ БАЗОВЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

(Публикация в «ТКЭА», 1997, № 3, с. 9.)

Украина, 270044, г. Одесса, пр-т Шевченко, 1, ОПУ-РТФ,
Ефименко Анатолий Афанасьевич. Тел. (0482) 288-542.

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ (СТАНДАРТ МЭК, ПУБЛИКАЦИЯ 917)

(Публикация в «ТКЭА», 1997, № 4, 4-я стр. обложки.)

Украина, 270031, г. Одесса, ул. Промышленная, 28,
ОАО «Нептун». Тел. (0482) 24-60-14, факс (0482) 32-55-23, 22-51-89.

ПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛИ (ПЭН)

(Публикация в «ТКЭА», 1997, № 2, с. 33.)

Украина, 270003, г. Одесса, ул. Церковная, 19, АО «Медлабортехника».
Главный конструктор Попов Виталий Иванович. Тел. (0482) 209-243, факс (0482) 33-13-03.