

## **Оптимизация присоединительных размеров универсальных сборно-разборных переналаживаемых приспособлений**

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

Предложена методика и решена задача выбора оптимальных параметров присоединительных размеров основных элементов универсальных сборно-разборных сварочных приспособлений с вероятностью сборки конструкции приспособления выше 80%. Использован метод аппроксимирующего программирования. Установлены оптимальные соотношения значений присоединительных размеров, выраженных через основной параметр – шаг между рядами пазов. Получены значения присоединительных размеров для универсальных сборно-разборных сварочных приспособлений серии 1 для сборки и сварки конструкций с габаритными размерами до 320×260×150 мм.

**Ключевые слова:** универсальные сборно-разборные сварочные приспособления, оптимизация, метод аппроксимации, присоединительный размер, паз, собираемость элементов приспособления.

### **Введение**

При современных темпах развития экономики Украины требуется более рациональный подход к использованию производственного потенциала предприятий, направленный на технологическую подготовку производства новой конкурентоспособной и качественной продукции.

Значительный резерв уменьшения затрат и сроков подготовки производства сборно-сварных конструкций, как показывает отечественный и зарубежный опыт, – это широкое использование обратимой технологической оснастки с высоким уровнем переналадки.

### **1. Постановка проблемы, анализ последних исследований и публикаций**

До настоящего времени при проектировании универсальных сборно-разборных сварочных приспособлений (УСРПС) проводились исследования и применялись известные рекомендации, касающиеся сборно-разборных приспособлений, в конструкции которых для закрепления основных ее элементов использовались Т-образные пазы (рис. 1, а) и болтовые соединения [1–5].

В предлагаемой конструкции (рис. 1, б) Т-образные пазы заменены сквозными прорезями (пазами), что значительно упрощает конструкцию основных ее элементов и расширяет ее технологические возможности [6, 7].

Однако в литературе отсутствуют исследования по определению оптимальных параметров присоединительных размеров в схемах расположения прорезей (пазов) в основных элементах (базовых плитах) приспособлений.

**Цель работы** – решение задачи выбора оптимальных параметров шага между рядами пазов и соотношений, связывающих его с другими конструктивными размерами базовых плит приспособлений.

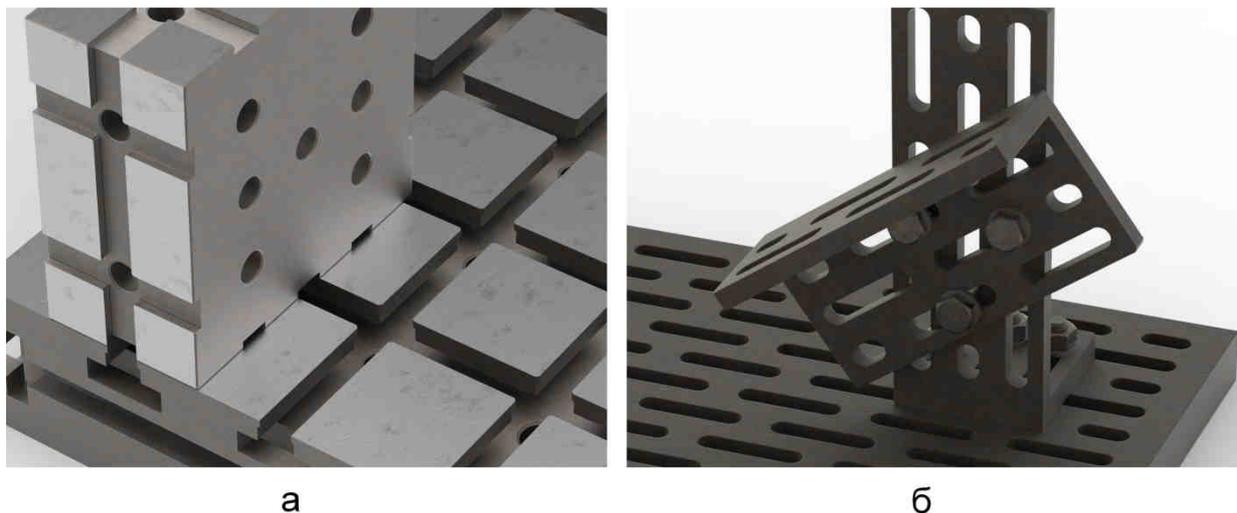


Рис. 1. Фрагменты плит и опорно-корпусных элементов УСРПС с Т-образными (а) и сквозными пазами (б)

## 2. Изложение основного материала

Как было сказано выше, под присоединительными размерами между элементами приспособления следует понимать размеры в схемах расположения пазов.

В предлагаемой конструкции УСРПС присоединительные размеры выражены через один основной параметр  $t$  – шаг между рядами пазов. Изменение этого параметра, равно как и других размеров или их соотношений, в различной степени влияет на показатели прочности, жесткости и собираемости элементов, а также на их габаритные размеры. Так, например, увеличение длины пазов  $L$  и уменьшение расстояний  $t$  и  $t_1$  между ними приводит к повышению показателя собираемости элементов (рис. 2). Это достигается путем уменьшения площади перемычек между пазами и увеличения числа возможных пересечений пазов стыкуемых элементов. Однако с уменьшением площади перемычек уменьшаются и моменты сопротивления поперечного сечения плиты, а следовательно, ее прочность и жесткость. Увеличение же длины пазов приводит к увеличению габаритных размеров корпусных элементов.

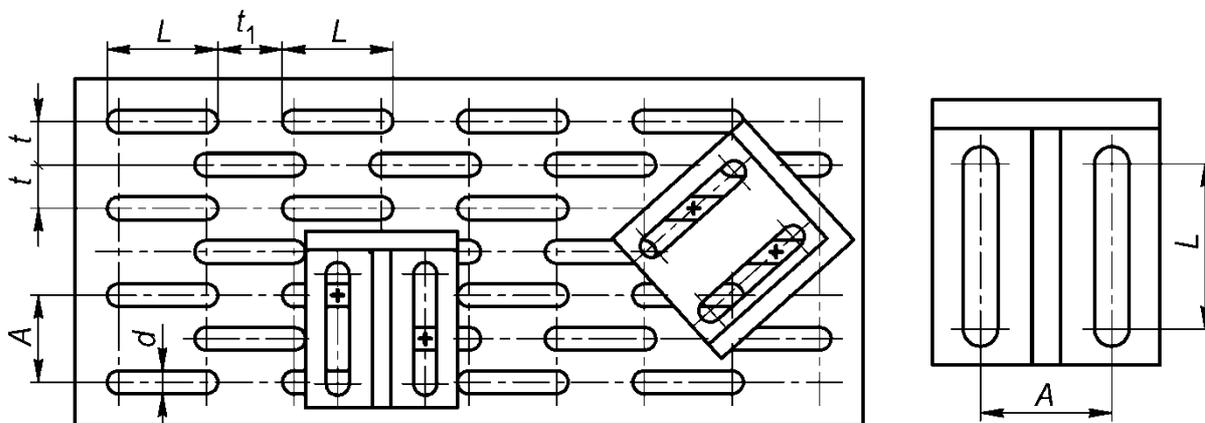


Рис. 2. Основные геометрические размеры в схемах расположения пазов

Стремление обеспечить достаточную прочность, жесткость и высокую вероятность соединения элементов УСРПС при одновременной минимизации их габаритных размеров вызвало необходимость решения задачи выбора оптимального значения параметра  $t$  и соотношений, связывающих его с другими размерами в схемах расположения пазов.

Постановку задачи иллюстрирует показанное на рис. 3 схематичное изображение модели плиты (МП) и произвольно расположенного на ней корпусного элемента (КЭ). На представленной схеме пазы показаны условно в виде отрезков, имитирующих осевые линии. Элемент изображен с двумя взаимно перпендикулярными парами пазов (на рис. 3 они показаны сплошными и пунктирными линиями), что является схематичной моделью элемента с двумя взаимно перпендикулярными базовыми поверхностями.

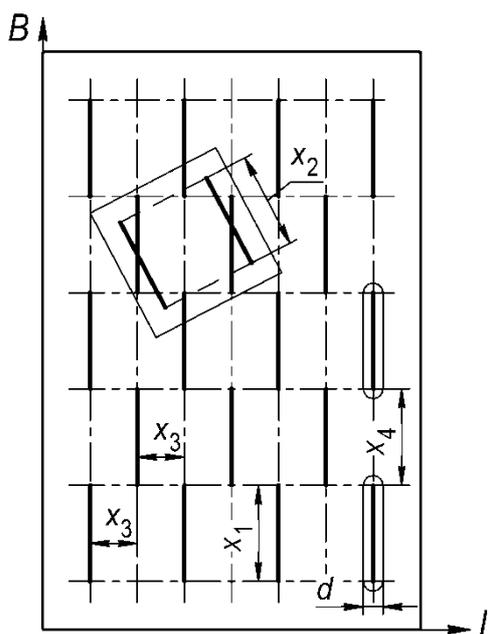


Рис. 3. Математическая модель плиты (МП) и корпусного элемента (КЭ)

Таким образом, в рассматриваемой схеме закрепление элемента на плите может считаться эквивалентным наличию двух пересечений отрезков МП с одним или двумя противоположными (сплошными или пунктирными) отрезками КЭ.

В схеме приняты следующие обозначения:  $x_1$  – длина оси паза в виде отрезка на МП;  $x_2$  – то же на КЭ;  $x_3$  – расстояние между рядами отрезков (пазов);,  $x_4$  – расстояние между соседними отрезками, расположенными в одном ряду. В соответствии с принятыми обозначениями  $x_3 = t$ .

Задача состоит в определении оптимальных параметров  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$ , при которых вероятность события КЭМП – закрепление КЭ на МП, была бы больше некоторой константы  $P^* = 0,8$ .

Для определения искомых параметров была рассмотрена следующая оптимизационная задача:

$$\max(P = -x_1 - x_2 + x_3 + x_4) \quad (1)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} x_1 \leq c_1, \quad x_3 \geq c_3, \quad x_1 \geq x_4, \\ x_2 \leq c_2, \quad x_4 \geq c_4, \quad x_2 \geq x_3, \end{aligned} \quad \text{prob}(x) \geq P^*, \quad (2)$$

где  $\text{prob}(x)$  – функция вероятности от вектора  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ ;

$c_1, c_2, c_3, c_4$  – векторы констант ограничения оптимизируемых значений  $x$ .

В выражении (2) первые два неравенства указывают на ограниченность размеров длин пазов плиты и элемента. Конкретные значения  $c_1$  и  $c_2$  верхних границ изменения оптимизируемых параметров  $x_1$  и  $x_2$  устанавливаются исходя из условия обеспечения требуемых параметров прочности и жесткости соответственно плиты и элемента. Следующие два неравенства описывают нижние границы изменения оптимизируемых параметров  $x_3$  и  $x_4$ . Значения констант  $c_3$  и  $c_4$  отражают предельные технологические возможности изготовления пазов с минимальными расстояниями между ними. Нарушение неравенства  $x_1 \geq x_4$  позволяет проводить на МП прямые, параллельные оси  $L$  и не имеющие ни одного пересечения с отрезками МП. Это приводит к резкому увеличению числа незакреплений КЭ, т. е. к значительному уменьшению вероятности  $\text{prob}(x)$ . Неравенство  $x_2 \geq x_3$  исключает возможность размещения КЭ между соседними рядами отрезков МП, что существенно увеличивает вероятность события КЭМП. Последнее неравенство системы отражает условие закрепления КЭ на МП для искомого вектора параметров  $x$  с вероятностью, большей, чем  $P^*$ . Этим и вызвана необходимость в наложении указанных ограничений на область изменений вектора  $x$ .

Легко заметить, что линейный функционал  $P$  системы (1)–(2) возрастает с увеличением параметров  $x_3$  и  $x_4$ , что соответствует увеличению расстояний между пазами и повышению прочности и жесткости плиты. С другой стороны, величина функционала убывает с ростом параметров  $x_1$  и  $x_2$ . Это соответствует увеличению длины пазов и ведет к снижению показателей прочности и жесткости. Следовательно, значение вектора параметров  $x^*$ , при котором функционал  $P$  достигает максимума в области ограничений  $x$  системы, является решением исходной задачи.

Для решения системы (1)–(2) был использован метод аппроксимирующего программирования, основанный на линейной аппроксимации нелинейных функций [8–10]. В исходной системе функция вероятности  $\text{prob}(x)$  нелинейная. Аппроксимация  $\text{prob}(x)$  линейными членами расположения ее в ряд Тейлора сводит нашу задачу к задаче линейного программирования. Для этого условие  $\text{prob}(x) \geq P^*$  было представлено в виде

$$P^* - p^0 + \sum_1^4 P_i' x_i^0 \leq \sum_1^4 P_i^1 x_i \leq 1 - p^0 + \sum_1^4 P_i' x_i^0, \quad (3)$$

где  $p^0$  – значение функции  $\text{prob}(x)$  в точке разложения  $x^0 = x_1^0, x_2^0, x_3^0, x_4^0$ ;

$P_i$  – первые производные функции  $\text{prob}(x)$  в точке разложения  $i = 1, 2, 3, 4$ .

Исследования функции вероятности  $\text{prob}(x)$  проведены на ПЭВМ по разработанному алгоритму и программе счета. В ходе вычислений вероятность  $\text{prob}(x)$  аппроксимировалась с наперед заданной точностью  $\varepsilon$  и частотой  $\nu = m/n$ , где  $m$  – число появлений события КЭМП из  $n$  случайных бросаний КЭ на МП. В табл. 1 приведены значения частоты, вычисленные для элементов с параметрами  $x_1 = x_2 = x_4 = 32$  мм и  $x_3 = 16$  мм.

Таблица 1

Значения частоты появления события КЭМП  
при  $x_1 = x_2 = x_4 = 32$  мм и  $x_3 = 16$  мм

$n$	10	100	1 000	10 000	100 000
$m$	9	81	847	8 512	84 783
$v$	0,900	0,810	0,847	0,851	0,848

Из таблицы видно, что при  $n \geq 1\,000$  частота появления события КЭМП стабилизируется. Это дало основание принять значение  $n = 1\,000$  для всех последующих вычислений функции  $prob(x)$ , при этом  $\varepsilon$  принимали равным 0,01.

Исследование функции  $prob(x)$  проводили по каждому из параметров вектора  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ . Результаты исследований показаны на рис. 4, где кривые 1 соответствуют  $prob(x)$  при  $x = x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 4$ , а кривые 2 –  $prob(x)$  при  $x_1 = x_2 = x_4 = 32$  мм и  $x_3 = 16$  мм.

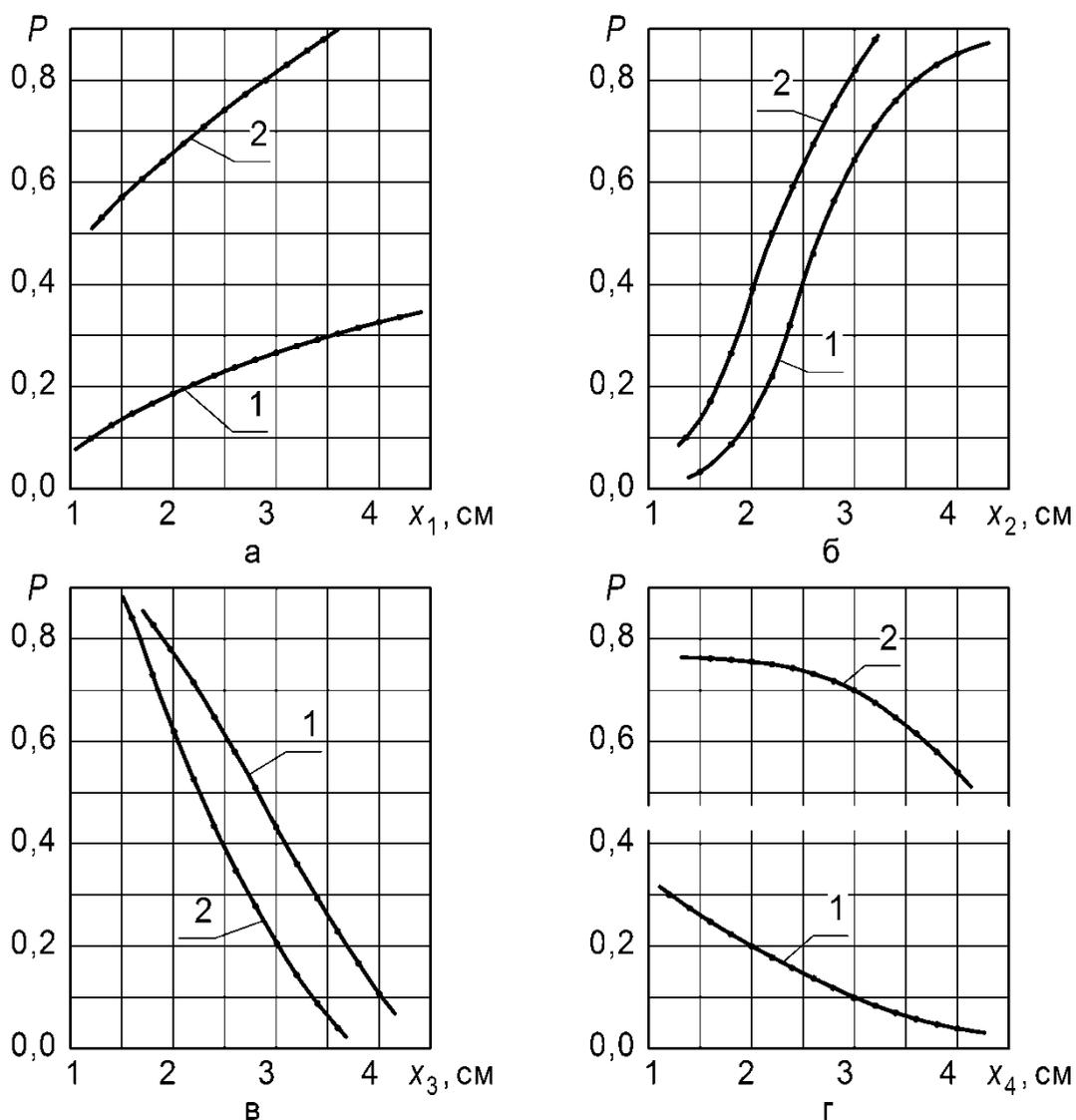


Рис. 4. Влияние параметров соединения на собираемость элементов УСРПС

Из графиков видно, что исследуемая функция относительно параметров  $x_1$  и  $x_2$  является строго возрастающей (рис. 4, а, б), а относительно параметров  $x_3$ , и  $x_4$  – строго убывающей (рис. 4, в, г).

В результате счета программы получена последовательность значений векторов  $x^*$ , удовлетворяющих условиям поставленной задачи и устанавливающих соотношение между искомыми оптимизируемыми параметрами в виде

$$2x_3 \geq \{x_1 = x_2 = x_4\} \geq 2x_3 - 0,2. \quad (4)$$

С учетом нижнего ограничения параметра  $x_3 = t = 16$  мм (из условия обеспечения минимальной толщины перемычки между пазами в отливке) для УСРПС серии 1 получено семейство размеров:

$$\begin{aligned} x'_3 &= 16 \text{ мм}, \\ 3,2 &\geq \{x'_1 = x'_2 = x'_4\} \geq 30 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (5)$$

Результаты исследований  $prob(x)$  для параметров семейства (5), представленные кривыми 2 на рис. 4 и в табл. 2, показывают, что вероятность события КЭМП для установленных значений вектора  $x = (x'_1, x'_2, x'_3, x'_4)$  колеблется в пределах 0,81...0,89, что выше заданного значения  $P^* = 0,8$ .

Таблица 2

Значения функции вероятности  $prob(x_1, x_2, x_3, x_4)$   
при  $x_2 = x_1$  и  $x_3 = 16$  мм

$x_4$	$x_1$	32,0	34,0	36,0	38,0	40,0
16,0		0,962	0,969	0,987	0,993	0,995
18,0		0,955	0,968	0,979	0,989	0,992
20,0		0,953	0,957	0,977	0,983	0,988
22,0		0,948	0,954	0,976	0,979	0,980
24,0		0,944	0,942	0,975	0,976	0,980
26,0		0,928	0,932	0,962	0,974	0,977
28,0		0,916	0,919	0,957	0,967	0,975
30,0		0,896	0,897	0,938	0,959	0,972
32,0		0,867	0,882	0,924	0,946	0,966
34,0		0,835	0,856	0,915	0,937	0,953
36,0		0,807	0,829	0,894	0,922	0,965
38,0		0,776	0,789	0,869	0,938	0,957
40,0		0,746	0,762	0,885	0,922	0,950

Таким образом, выражение (4) является искомым решением задачи и устанавливает оптимальные соотношения значений присоединительных размеров, выраженных через основной параметр  $t$ .

Для элементов УСРПС серии 1 с габаритными размерами базовой плиты 320×260 мм установлены следующие значения присоединительных размеров:  $t = 16$  мм,  $A = 32$  мм,  $L = 40$  мм и  $t_1 = 24$  мм.

## Выводы

1. Предложена методика и решена задача выбора оптимальных присоединительных размеров основных элементов универсальных сборно-разборных сварочных приспособлений.

2. Получены значения присоединительных размеров для УСРПС серии 1 для сборки и сварки конструкций с габаритными размерами до 320×260×150 мм.

## Список литературы

1. Горбулин, В.П. Обратимая технологическая оснастка для ГПС [Текст] / В.П. Горбулин, Г.Н. Жолткевич, Н.Д. Жолткевич, А.С. Кобзев [и др.]. – К.: Техніка, 1992. – 216 с.

2. Шац, А.С. Универсально-сборные приспособления для сборки под сварку металлоконструкций длиной 1000–5000 мм. Технология, организация и механизация сварочного производства. Альбом. / А.С. Шац, Л.С. Филатов. – НИИинформтяжмаш, 1970. – № 5. – 98 с.

3. Артемьев, И.Д. Универсально-сборные приспособления для сварочных и паяльных работ [Текст] / И.Д. Артемьев // Сварочное производство. – 1967. – № 4. – С. 34–36.

4. Жолткевич, Н.Д. Отраслевая система переналаживаемой технологической оснастки для ускоренной технологической подготовки производства [Текст] / Н.Д. Жолткевич [и др.] – М.: ЦНИИинформ., 1988. – 248 с.

5. Шац, А.С. Оптимальная форма Т-образных пазов деталей универсально-сборных приспособлений [Текст] / А.С. Шац, В.А. Долгов, В.В. Струин, В.Г. Бабаш // Станки и инструмент. – 1970. – № 5. – С. 26–28.

6. Кравченко, С.И. Требования к конструкции и критерии оценки параметров универсальных сборно-разборных приспособлений [Текст] / С.И. Кравченко, О.В. Бондарь // Зб. наук. пр. Полтавського нац. техн. ун-ту ім. Ю. Кондратюка. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. – Вип. 5 (35). – Полтава, 2012. – С. 49–53.

7. Мовшович, А.Я. Конструкции универсальных сборно-разборных приспособлений для сборочно-сварочных работ (УСРПС-С) [Текст] / А.Я. Мовшович, К.А. Изотова, Ю.А. Черная, О.В. Бондарь // Машинобудування: зб. наук. пр. Української інженерно-пед. акад. – № 9. – Х., 2012. – С. 148–161.

8. Васильев, Ф.П. Методы оптимизации [Текст] / Ф.П. Васильев. – М.: Факториал пресс, 2002. – 824 с.

9. Аттетков, А.В. Методы оптимизации [Текст]: учеб. для вузов / А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин; под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 440 с.

10. Пантелеев, А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах [Текст]: учеб. Пособие. – 2-е изд. / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. – М.: Высш. шк., 2005. – 544 с.

Поступила в редакцию 04.12.2017.

## **Оптимізація приєднувальних розмірів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань**

Запропоновано методику і вирішено задачу вибору оптимальних параметрів приєднувальних розмірів основних елементів універсальних збірно-розбірних зварювальних пристосувань з ймовірністю збирання конструкції пристосування понад 80%. Використано метод апроксимуючого програмування. Встановлено оптимальні співвідношення значень приєднувальних розмірів, виражених через основний параметр – крок між рядами пазів. Отримано значення приєднувальних розмірів для універсальних збірно-розбірних зварювальних пристосувань серії 1 для складання і зварювання конструкцій з габаритними розмірами до 320×260×150 мм.

**Ключові слова:** універсальні збірно-розбірні зварні пристосування, оптимізація, метод апроксимації, приєднувальний розмір, паз, рівень збирання елементів пристосування.

## **Optimization of Connecting Dimensions of Universal Collapsible Re-Configurable Devices**

The method is proposed and the problem of choosing the optimal parameters of connecting dimensions of the main elements of universal assembly-demountable welding devices with the probability of assembling the device structure above 80% is solved. Approximate programming method was used. The optimal ratios of the values of the connecting dimensions expressed through the main parameter – step between the rows of grooves are established. The values of connecting dimensions for universal assembly-demountable welding devices of series 1 for assembling and welding structures with dimensions up to 320×260×150 mm are obtained.

**Keywords:** universal collapsible facilities for welding, optimization, approximation method, connecting dimension, groove, assembly level of device components.

### **Сведения об авторах:**

**Пермяков Александр Анатольевич** – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии машиностроения и металлорежущих станков, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

**Фролов Евгений Андреевич** – д-р техн. наук, проф., профессор кафедры технологии машиностроения, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина.

**Бондарь Олег Валентинович** – ассистент, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина.