

## **Экспериментальное исследование влияния конструктивных элементов Т-образных пазов базовых плит УСРПС на прочность**

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

Экспериментально исследована работоспособность основного соединения «Т-образный паз базовых плит – шпонка – болт» в системе фиксирования взаимного расположения базовых и опорно-корпусных деталей универсальных сборно-разборных переналаживаемых приспособлений для сварочных работ. На основании результатов испытаний получены графические зависимости разрушающих нагрузок от размеров конструктивных элементов пазов в образцах и их материала, а также определены факторы, влияющие на прочность деталей переналаживаемых приспособлений. Установлены рациональные соотношения параметров и размеров Т-образных пазов в базовых опорных плитах сварочных приспособлений и опорно-корпусных деталях.

**Ключевые слова:** универсальные сборно-разборные сварочные приспособления, работоспособность, прочность, параметры, размеры, паз.

### **Введение**

Главной задачей, стоящей перед современным производством различной техники наряду с комплексной механизацией всех процессов изготовления входящих узлов и деталей, является повышение их качества и экономичности.

Значительный резерв уменьшения затрат и сроков подготовки производства новых изделий, как показывает отечественный и зарубежный опыт, – это широкое использование обратимой технологической оснастки в сборочном, механообрабатывающем, литейном, штамповочном и сборочно-сварочном производствах.

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

Значение обратимой технологической оснастки в сварочном производстве велико. К настоящему времени разработаны и внедрены комплекты элементов универсально-сборных переналаживаемых приспособлений с пазами на опорных плитах 8, 12 и 16 мм для сборочно-сварочных работ (УСПС-8, УСПС-12 и УСПС-16), предназначенные для изготовления сварных конструкций габаритами от 50×50×30 до 5000×2000×1500 мм и массой от 0,1 до 2500 кг с применением механизированной и ручной сварки плавлением [1–5].

До настоящего времени при проектировании УСРПС для изготовления крупногабаритных изделий назначались опытным путем с использованием известных рекомендаций и исследований по приспособлениям УСПС-8, УСПС-12. Особенно это касается конструкций и размеров базовых плит с Т-образными пазами, которые являются основанием всех компоновок УСПС-16, и в процессе работы воспринимают наиболее высокие нагрузки.

Однако в литературе силовые условия в сборочно-сварочных приспособлениях для габаритных и металлоемких изделий изучены недостаточно

полно. Отсутствуют исследования напряженного состояния в соединении базовых и опорно-корпусных деталей с учетом схем и нагрузжений.

**Цель работы** — экспериментально исследовать работоспособность основного соединения «Т-образный паз – шпонка – болт» в системе фиксирования взаимного расположения базовых и корпусных деталей УСРПС и установить их рациональные соотношения параметров и размеров Т-образных пазов в базовых плитах.

## 2. Изложение основного материала

В долголетней практике эксплуатации универсально-сборных приспособлений (УСП) для механообработки установлены геометрические соотношения параметров и размеров Т-образных пазов в деталях [6], изготовленных из хромоникелевой стали марки 12ХН3А, где ширина паза ( $b_n$ ) была принята 12Н7 и 16Н7 под болты М12 и М16. Все размерные соотношения отнесены к ширине паза:  $\alpha = b/b_n = 1,5 \dots 1,7$ ;  $\beta = h/b_n = 0,62 \dots 1,25$ ;  $\varphi = t/b_n = 3 \dots 7,5$  (рис. 1).

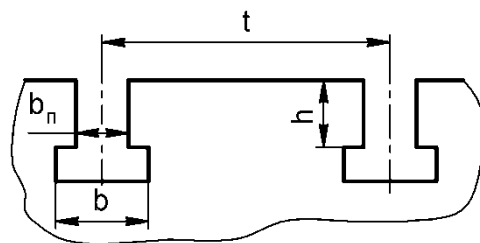


Рис. 1. Основные конструктивные параметры и размеры Т-образных пазов

Для базовых и опорно-корпусных деталей УСРПС, изготовленных из чугуна ВЧ50-2 и стали 20Х, такие соотношения не установлены.

От правильного выбора геометрических соотношений параметров и размеров Т-образных пазов зависит несущая способность и запас прочности деталей УСРПС. Несущая способность деталей УСРПС характеризуется нагрузками, соответствующими предельным состояниям деталей по прочности и сопротивлению пластическим деформациям по жесткости.

Запасом прочности называется отношение предельной нагрузки  $P_{пред}$ , соответствующей предельному состоянию деталей УСРПС, к действующей на деталь нагрузке  $P_d$

$$n = P_{пред}/P_d. \quad (1)$$

Как предельная по несущей способности, так и действующая нагрузки могут вычисляться или определяться экспериментально.

Для деталей УСРПС, имеющих Т-образные пазы, предельной нагрузкой (т. е. их несущей способностью) является сила  $P_{пред}$ , передающаяся на заплечики пазов через пазовые болты и соответствующая усилию в момент разрушения паза. Действующими нагрузками по отношению к деталям УСРПС, имеющими Т-образные пазы, являются силы  $P_d$ , соответствующие усилию от затяжки болтов и усилию, разрушающему болт. С целью определения предельных нагрузок для деталей УСРПС, имеющих Т-образные пазы, были проведены следующие испытания.

Для чугунов линейная зависимость между напряжениями и деформациями не имеет места. В этом случае для определения напряженного состояния и разрушающего усилия можно использовать только экспериментальные данные.

Для опорно-корпусных деталей УСРПС, изготовленных из стали 20Х, подвергавшейся цементации и последующей закалке, расчетным путем нельзя определить предельные разрушающие нагрузки, так как невозможно учесть влияние закаленного слоя и пересечений Т-образных пазов на прочность элементов.

Для определения величины предельных разрушающих нагрузок были проведены испытания натуральных образцов, изготовленных из высокопрочного чугуна ВЧ50-2 и стали 20Х твердостью HRC 56...62. Размеры образцов полностью соответствовали размерам площадок, полученных пересечением Т-образных пазов в базовых плитах и опорно-корпусных деталях УСРПС. Высота заплечиков  $h$  Т-образного паза шириной  $b_n = 12$  и  $16$  мм принята кратной 5-ти и составляла для чугунных образцов 15, 20 и 25 мм; для стальных – 10, 15 и 20 мм. Принятая высота заплечиков Т-образных пазов обусловлена следующими факторами:

- длина цилиндрической части базовых болтов, высота опорно-корпусных, фиксирующих и зажимных элементов УСРПС кратна 5-ти, следовательно, исходя из условий взаимособираемости элементов УСРПС, высота заплечиков Т-образных пазов должна быть кратной 5-ти;
- увеличение высоты заплечика паза свыше 25 мм приводит к резкому возрастанию габаритных размеров всех деталей УСРПС;
- высота заплечиков Т-образных пазов должна обеспечивать минимально допустимые запасы прочности.

Форма и размеры натуральных образцов для испытаний показаны на рис. 2.

Шаг между осями пазов  $t$  в системе УСРПС был принят равным 60 и 120 мм с целью конструктивной увязки с системой УСП для механической обработки.

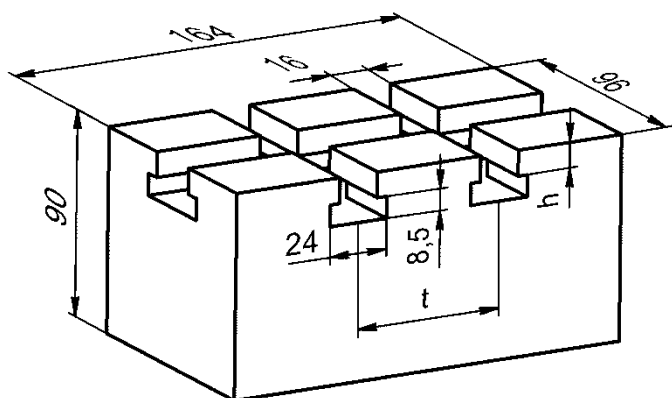


Рис. 2. Конструкция и размеры образцов для определения прочности Т-образных пазов в деталях УСРПС

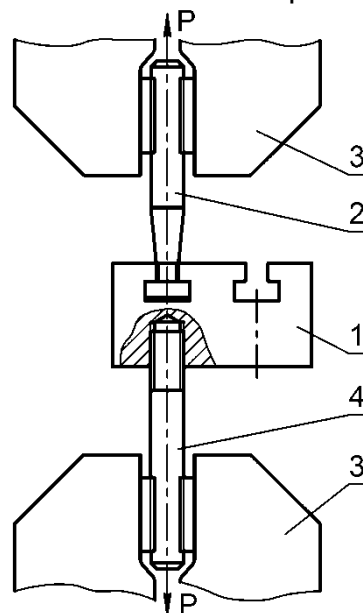


Рис. 3. Схема испытания образцов:  
1 – испытываемый образец;  
2 – специальный усиленный болт;  
3 – захваты машин; 4 – шпилька

Образцы испытывались на универсальной испытательной гидравлической разрывной машине УММ-100 с установкой в Т-образный паз образцов специального усиленного тянущего болта, так как целью испытаний было определение усилий, соответствующих моменту разрушения образцов с Т-образными пазами, а не болта. Испытания проводились по схеме, показанной на рис. 3.

Величины разрушающих нагрузок  $P_{пред}$  в зависимости от высоты заплечиков пазов, шага между осями пазов и материала по результатам исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Результаты испытаний образцов из чугуна ВЧ50-2 и стали 20Х

Высота заплечика паза $h$ , мм	Разрушающая нагрузка $P_{пред}$ , кН	
	$t = 60$ мм	$t = 120$ мм
чугун ВЧ50-2		
15	110	233
20	148	314
25	181	380
сталь 20Х		
10	206	480
15	259	605
20	315	740

На основании данных табл. 1 построены графики зависимости разрушающих нагрузок  $P_{пред}$  от размеров конструктивных элементов пазов в образцах и их материала (рис. 4). Установлено, что прочность деталей УСРПС, имеющих Т-образные пазы, находится в линейной зависимости от следующих факторов: высоты заплечиков Т-образных пазов и расстояния между осями пазов.

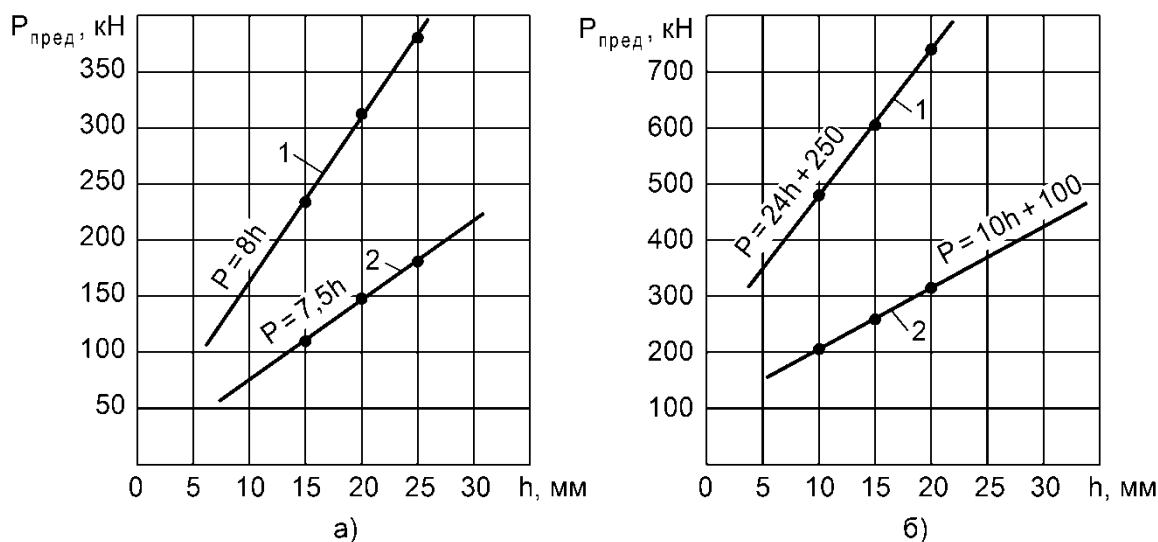


Рис. 4. Графики зависимости разрушающей нагрузки  $P_{пред}$  от размеров конструктивных элементов Т-образных пазов: а) для образцов из чугуна ВЧ50-2; б) для образцов из стали 20Х; 1 – для  $t = 120$  мм; 2 – для  $t = 60$  мм

Запас прочности деталей, имеющих Т-образные пазы, определялся по формуле (1) для следующих случаев: разрушающих нагрузок для паза и пазового болта М16; разрушающих нагрузок для паза и усилия затяжки болта М16.

Исследованиями, проведенными в работе, установлено, что разрушающая нагрузка для пазового болта с резьбой М16, изготовленного из стали 38ХА (HRC 38...42), составляет  $P_{пред.р} = 206$  кН. Усилие затяжки при нормальных условиях эксплуатации составляет  $P_3 = 68,5$  кН.

Результаты расчетов запасов прочности для различных конструкций образцов и материалов приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Запас прочности базовых плит

Разрушающая нагрузка $P_{пред}$ , кН	Запас прочности		Шаг между осями пазов $t$ , мм
	$n_1 = \frac{P_{пред}}{206}$	$n_2 = \frac{P_{пред}}{68,5}$	
110	0,53	1,61	60
148	0,72	2,16	60
181	0,88	2,64	60
233	1,13	3,40	120
314	1,52	4,58	120
380	1,84	5,55	120

Таблица 3

Запас прочности опорно-корпусных деталей из стали 20Х

Разрушающая нагрузка $P_{пред}$ , кН	Запас прочности		Шаг между осями пазов $t$ , мм
	$n_1 = \frac{P_{пред}}{206}$	$n_2 = \frac{P_{пред}}{68,5}$	
206	1,00	3,01	60
259	1,26	3,78	60
315	1,53	4,60	60
480	2,33	7,01	120
605	2,94	8,83	120
740	3,59	10,80	120

На рис. 5 показаны графики зависимости  $n$  от  $P_{пред}$ .

Исходя из условия длительного сохранения первоначальной формы и размеров базовых плит и других деталей УСРПС, имеющих Т-образные пазы, расчет на прочность по сопротивлению пластическим деформациям производится по формуле

$$\sigma_{пр} = \sigma_T / n_T = [\sigma]. \quad (2)$$

Запас прочности определяли по данным [7] в зависимости от соотношения  $\sigma_T / \sigma_B = 0,8$ ;  $n_T = 2$ .

Для чугуна ВЧ50-2

$$[\sigma] = 38 \cdot 10^7 / 2 = 19,0 \cdot 10^7 \text{ Па} = 190 \text{ МПа.}$$

Для стали 20Х

$$[\sigma] = 65 \cdot 10^7 / 2 = 32,5 \cdot 10^7 \text{ Па} = 325 \text{ МПа.}$$

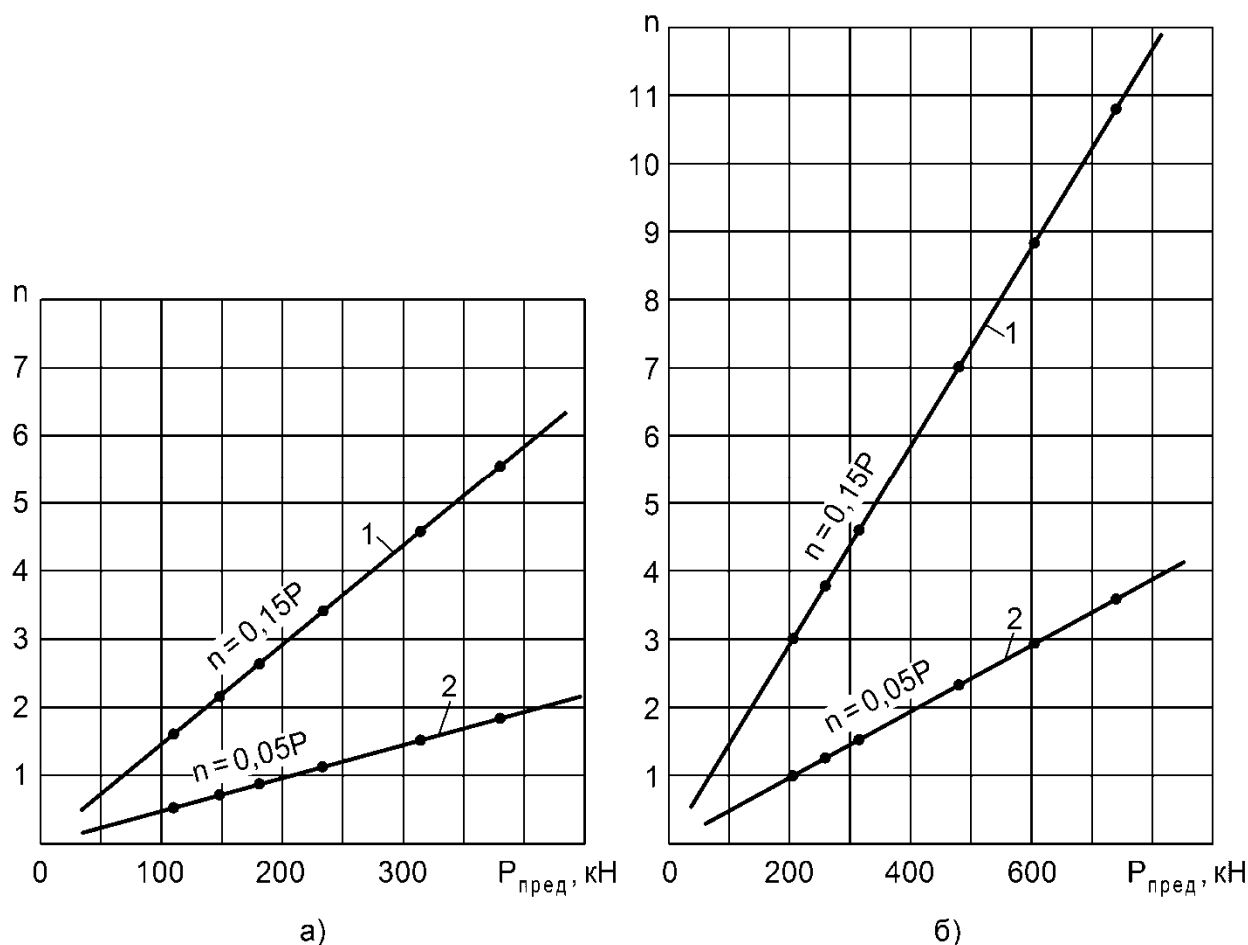


Рис. 5. Графики зависимости запасов прочности ( $n$ ) от действующих нагрузок  $P = 68,5$  кН (1) и  $P = 206$  кН (2): а) для базовых плит; б) для опорно-корпусных деталей

Величина действующих нагрузок  $P_d$ , соответствующих допустимым напряжениям  $\sigma$  в деталях с Т-образными пазами в зависимости от соотношения  $\beta$ , определены в работе [6] (табл. 4).

Таблица 4

Величина действующих нагрузок

$\beta$	$P_d$ , кН	
	для ВЧ50-2	для стали 20Х
0,62	—	49,0
0,94	—	65,3
1,25	49,0	84,3
1,56	57,8	—

Фактический запас прочности базовых плит и опорно-корпусных деталей УСРПС, имеющих Т-образные пазы, исходя из условия длительного сохранения первоначальной точности ( $n_T$ ), в зависимости от высоты заплечиков Т-образных пазов приведен соответственно в табл. 5 и 6.

Таблица 5

## Запас прочности базовых плит

Высота заплечика паза $h$ , мм (из условий прочности)	Действующая нагрузка $P_d$ , кН	Запас прочности $n_T = \frac{206}{P_d}$
20	49,0	4,2
25	57,8	3,56

Таблица 6

## Запас прочности опорно-корпусных деталей

Высота заплечика паза $h$ , мм (из условий прочности)	Действующая нагрузка $P_d$ , кН	Запас прочности $n_T = \frac{206}{P_d}$
10	49,0	4,2
15	65,3	3,15
20	84,3	2,44

**Вывод**

На основании проведенных исследований и расчетов запасов прочности можно окончательно рекомендовать, исходя из условий прочности и длительного сохранения первоначальной точности, следующие рациональные соотношения параметров и размеров Т-образных пазов:

- для базовых плит УСРПС:  $\beta_{\min} = 1,25$  и  $\varphi_{\min} = 7,5$ ;
- для опорно-корпусных деталей УСРПС:  $\beta_{\min} = 0,62$  при  $\varphi_{\min} = 7,5$  и  $\beta_{\min} = 1,25$  при  $\varphi_{\min} = 3,75$ .

**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.: илл.
3. Световой, О. И. Переналаживаемая технологическая оснастка для станков ОЦ [Текст] / О. И. Световой // Вопросы оборонной техники. – 1987. – Вып. 7 (193). – С. 10–14.
4. Жолткевич, Н. Д. Отраслевая система переналаживаемой технологической оснастки для ускоренной технологической подготовки производства [Текст] / Н. Д. Жолткевич [и др.]. – М.: ЦНИИ информ., 1988. – 248 с.
5. Фролов, Е. А. Экспериментальное исследование напряженного состояния в соединении базовых и корпусных деталей обратимой сборочно-сварочной оснастки [Текст] / Е. А. Фролов, О. В. Бондарь, А. М. Пирнат // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 69. – Х., 2015. – С. 216–224.
6. 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.

7. Ачеркан, Н. С. Справочник машиностроителя [Текст]: в 6 томах / Н. С. Ачеркан; под ред. С. В. Серенсера. – М.: Машгиз, 1956. – Т. 3. – 567 с.

Поступила в редакцию 21.06.2016.

### **Експериментальне дослідження впливу конструктивних елементів Т-подібних пазів базових плит УЗРПЗ на міцність**

Експериментально досліджена працездатність основного з'єднання «Т-подібний паз базових плит – шпонка – болт» у системі фіксування взаємного розташування базових і опорно-корпусних деталей універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань для зварних робіт. На основі результатів випробувань отримано графічні залежності руйнуючих навантажень від розмірів конструктивних елементів пазів у зразках та їх матеріалу, а також визначено фактори, що впливають на міцність деталей переналагоджуваних пристосувань. Встановлено раціональні співвідношення параметрів і розмірів Т-подібних пазів у базових опорних плитах зварних пристосувань та опорно-корпусних деталей.

**Ключові слова:** універсальні збірно-розбірні зварні пристосування, працездатність, міцність, параметри, розміри, паз.

### **Experimental Research of the Influence of Constructive Elements of T-Shaped Grooves of the Base Plates of UCFW on Durability**

Experimentally studied operability of a basic compound "T-shaped groove base plates – dowel – bolt" in the system of fixing the mutual position of the base and the supporting-case details of universal collapsible re-adjustable facilities for welding.

Based on test results obtained by graphic dependences of destructive loads from the sizes of constructive elements of grooves in the samples and their material, also identified the factors, which affect on the strength of parts re-adjustable facilities. Also were installed rational correlation of options and dimensions of T-shaped grooves in the base plates welding facilities and supporting-case details.

**Keywords:** Universal Collapsible Facilities for Welding, operability, strength, options, dimensions, groove.

#### **Сведения об авторах:**

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

**Кравченко Сергей Иванович** – канд. техн. наук, доц., Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина.

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

**Пирнат Артур Михайлович** – аспирант, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина.