

О.П. НАЗАРОВА, канд. техн. наук, Таврическая государственная агротехническая академия, г. Мелитополь
А.В. ТКАЧУК, канд. техн. наук, НТУ “ХПИ”
А.В.ЛИТВИНЕНКО, “Головной специализированный конструкторско-технологический институт”, г. Мариуполь,

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА И РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗОВЫХ ПЛИТ ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И ОБРАБАТЫВЮЩИХ ЦЕНТРОВ

Для визначення характеристик напружено-деформованого стану елементів верстатних пристосувань запропоновано спеціалізована автоматизована система. Створені параметричні моделі тих елементів конструкцій пристосувань, що здійснюють найбільший вплив на їх міцність та жорсткість. Проведений параметричний аналіз, що визначає залежність характеристик напружено-деформованого стану від конструктивних параметрів базових плит.

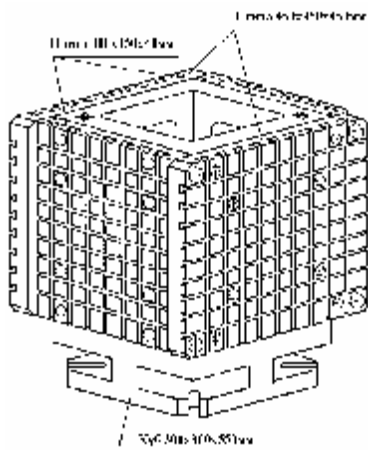
The specialized automated system is offered for determination of characteristics of stressed deformed state of machining accessories elements. The parametrical models are created for those accessories elements which carry out most influence on their strength and rigidity. The parametrical analysis is conducted which determines dependence of characteristics of stressed deformed state on the structural parameters of base plates.

Постановка задачи. При базировании и закреплении обрабатываемых деталей на металлорежущих станках широкое распространение получили системы приспособлений, использующие в качестве основных элементов базовые плиты с Т-образными пазами (БП-ТП). В табл. 1 приведены примеры приспособлений рамной конструкции ХНИИТМ, оснащаемые БП-ТП. Данные плиты находятся в самых разнообразных условиях нагружения. Это обуславливается широким разнообразием используемых наладок, станков, инструмента, режимов резания, материалов, формы и размеров обрабатываемых деталей. В связи с этим возникают следующие актуальные задачи, обусловленные высокими требованиями к базовым элементам технологической оснастки [1-9]:

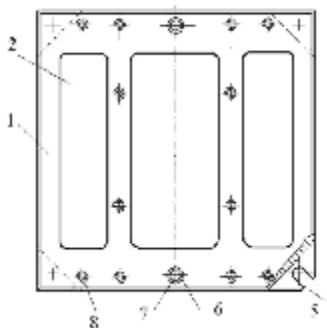
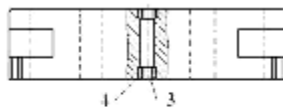
- разработка системы автоматизированного анализа и синтеза базовых плит с Т-образными пазами по критериям жесткости;
- расчетное обоснование густоты конечно-элементной разбивки для достижения приемлемой точности определения напряженно-деформированного состояния базовых плит с Т-образными пазами при многовариантных численных исследованиях;
- оценка чувствительности жесткостных характеристик базовых плит к изменению конструктивных параметров.

1. Структура автоматизированной системы. На рис.1 представлена структура системы автоматизированного анализа и синтеза базовых плит с Т-образными пазами “СААС-БП”, реализующая предложенную в статье технологию исследований применительно к данному классу объектов [1-5].

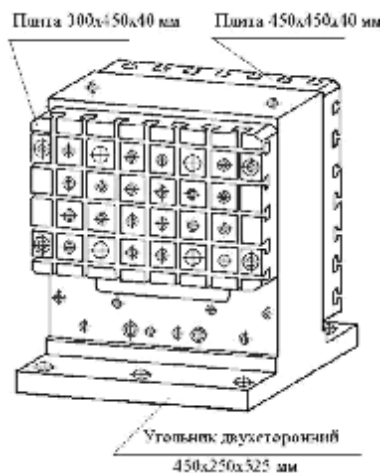
Таблица 1
Примеры приспособлений рамной конструкции, оснащаемые базовыми плитами с Т-образными пазами



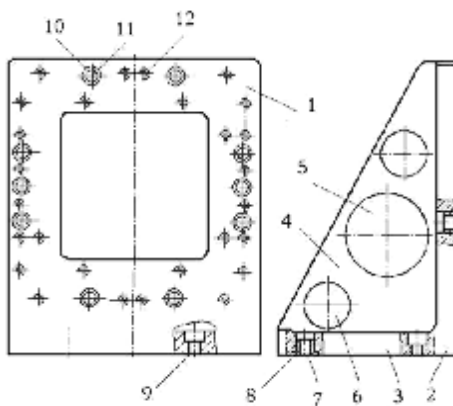
Куб



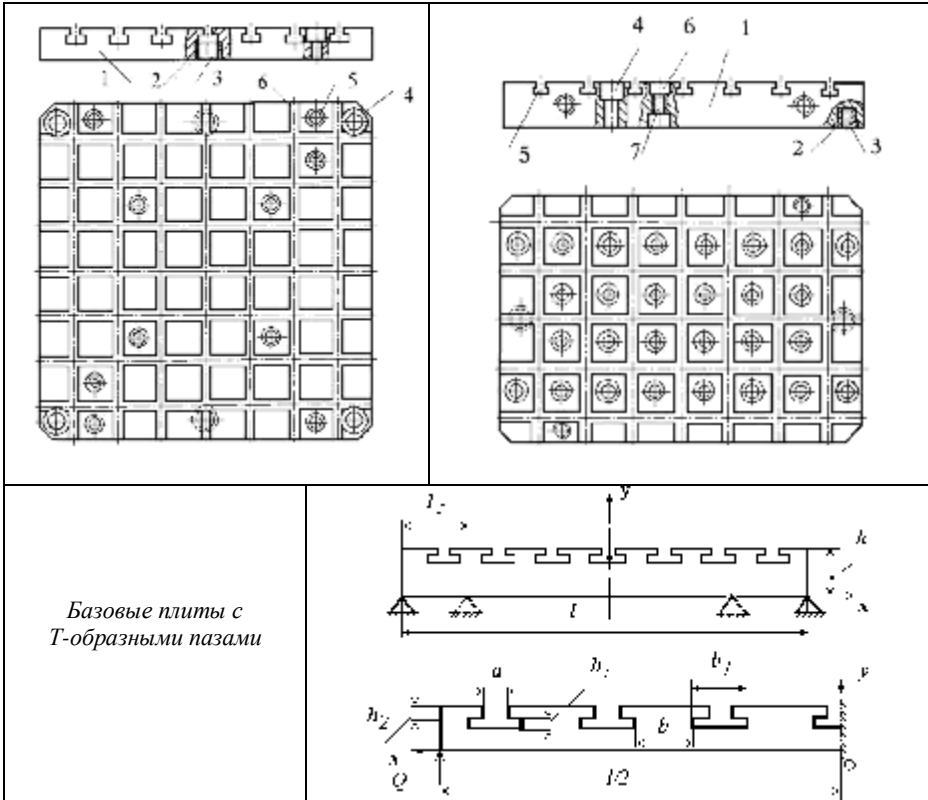
Подставка



Двусторонний угольник



Угольник



2. Исследование напряженно-деформированного состояния базовых плит с Т-образными пазами. С использованием данной системы было проведено исследование БП-ТП с применением 2D элементов. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния полосы с Т-образными пазами (см. табл.1). Граничное условие – жесткое закрепление в сечении $x = 0$. Нагрузка приложена в сечении $x = l/2 - l_0$.

Прочностные и жесткостные характеристики полосы определяются системой параметров $l, l_0, h, h_1, h_2, b, b_1$. Постановка некоторой оптимизационной задачи для определения значений параметров в традиционном ее виде нецелесообразна, поскольку система ограничений на различные параметры такова, что область варьирования в пространстве данных параметров имеет сложную форму (неодносвязная, вырожденная по некоторым направлениям в определенных зонах и т.д.). В связи с этим более рационален другой подход, который в общем виде состоит в определении

зависимостей

$$v = v(\mathbf{p}), \quad \sigma = \sigma(\mathbf{p}),$$

где v, σ – некоторые жесткостные и прочностные характеристики исследуемой полосы,

\mathbf{p} – вектор варьируемых параметров $l, l_0, h, h_1, h_2, b, b_1$.

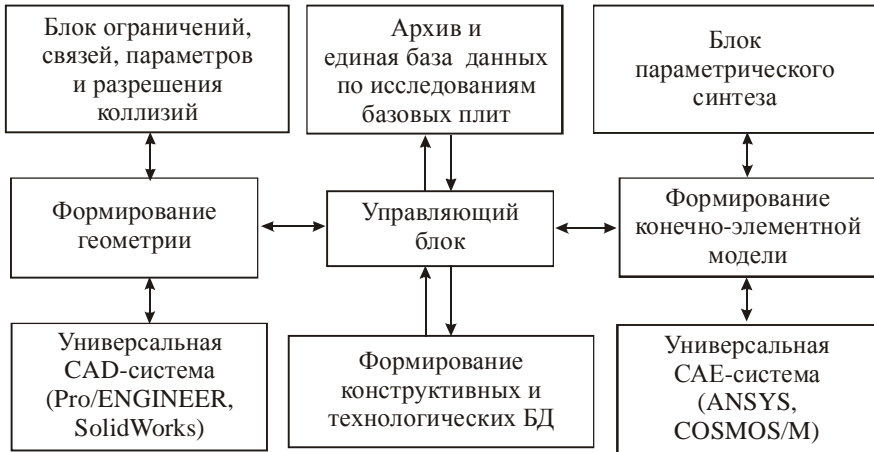


Рис. 1. Структура специализированной подсистемы автоматизированного анализа и синтеза “СААС-БП”

Наличие таких зависимостей позволяет конструктору оснастки при задании соответствующих ограничений $v \leq \bar{v}, \sigma \leq \bar{\sigma}$ оперативно решать проблему выбора параметров p_i с учетом конкретных условий, конструктивных или технологических требований или, наоборот, технологу при задании некоторых параметров p_i назначать соответствующие режимы обработки деталей с учетом ограничений.

В частном виде сформулированная задача состоит в определении зависимостей

$$v_j = v_j(p_j), \quad \sigma_j = \sigma_j(p_j),$$

где j – номер некоторого заранее выбранного параметра при фиксированных значениях остальных параметров $p_k^{(0)}$.

В некоторых случаях представляет интерес также определение чувствительности параметров v, σ к изменению параметров p_i :

$$\lambda_i^{(v)} = \frac{\partial v}{\partial p_i}, \quad \lambda_i^{(\sigma)} = \frac{\partial \sigma}{\partial p_i}.$$

Параметры $\lambda_i^{(v)}$, $\lambda_i^{(\sigma)}$ дают представление о скорости изменения v, σ в некоторой точке параметрического пространства в соответствующем направлении. Иногда для конструктора важны также некоторые интегральные характеристики:

$$\alpha_i^{(v)} = (v_{\max} - v_{\min}) / \Delta p_i, \quad \alpha_i^{(\sigma)} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / \Delta p_i,$$

где Δp_i – или величина интервала варьирования параметра, или величина интервала между максимальным и минимальным значениями v, σ (по выбору исследователя или с учетом специфики конкретной задачи).

Кроме величин скоростей, представляют интерес также абсолютные величины перепадов параметров v, σ на соответствующих заданных интервалах варьирования p_i : $\gamma_i^{(v)} = v_{\max} - v_{\min}$, $\gamma_i^{(\sigma)} = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$.

Сопоставление значений α, γ, λ дает проектировщикам исходную информацию о характере изменения v, σ в пространстве параметров, а также о приоритетности (или целесообразности) варьирования параметров p_i .

В частности, при исследовании влияния высоты паза h_1 на прочностные и жесткостные характеристики полосы в качестве контролируемых параметров были выбраны максимальные значения перемещений точек полосы u_m, v_m вдоль осей x, y соответственно и напряжений $\sigma_x^{(m)}$.

Базовый вариант параметров $\mathbf{P}^{(0)}$: $l = 450$ мм, $l_0 = 0$ мм, $h = 40$ мм, $h_1 = 8$ мм, $h_2 = 10$ мм, $b = 36$ мм, $b_1 = 24$ мм. Толщина полосы – 1 мм. Нагрузка $Q = 55$ Н. Результаты расчетов приведены в табл. 2, 3.

Искомые приближенные зависимости могут быть представлены в виде:

$$u_m = 161 + 15,5(h_1 - 8) + 1,47(h_1 - 8)^2, \quad v_m = 828 + 80,3(h_1 - 8) + 7,87(h_1 - 8)^2,$$

$$\sigma_x^{(m)} = 231 + 17,4(h_1 - 8) + 1,57(h_1 - 8)^2.$$

Параметры чувствительности:

$$\frac{\partial u_m}{\partial h_1} = 15,5 \cdot 10^{-3}, \quad \frac{\partial v_m}{\partial h_1} = 80,3 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \sigma_x^{(m)}}{\partial h_1} = 17,4 \cdot 10^3 \text{ МПа/м.} \quad (2)$$

Таблица 2

Характеристики НДС полосы с Т-образными пазами

№	h_1 , мм	u_m , мкм	v_m , мкм	$\sigma_x^{(m)}$, МПа
1	4	91,6	537,1	178,2
2	6	142,5	668,3	211,7
3	8	148,6	809,7	212,4
4	10	208,2	1088,2	290,5
5	14	404,3	1969,4	416,4
6	18	928,8	4232,1	694,0

3. Анализ результатов. Представляет интерес качественный анализ полученных результатов:

- характер деформирования полосы с пазами в целом соответствует характеру деформирования полосы без пазов;
- напряжения в области “гребешков” убывают, в области пазов – растут, изменяясь волнообразно вдоль оси x ; при этом в целом распределение напряжений по общему характеру примерно соответствует характеру распределения в сплошной полосе;
- величина прогибов полосы с пазами – промежуточная между плитой без пазов и плитой без гребешков; с этой точки зрения можно вычислить некоторую “эквивалентную” толщину полосы, у которой жесткостные параметры соответствуют аналогичным параметрам полосы с пазами (в данном случае примерно 28 мм);
- для напряженного состояния характерно резкое увеличение напряжений в зонах концентраторов, образуемых сопряжениями паз – “гребешок”.

Таким образом, для оперативного анализа деформированного состояния плит с Т-образными пазами можно использовать модели сплошных плит с “эквивалентной” толщиной, приближенно учитывая влияние варьирования параметров по соотношениям вида (1), (2), а для напряженного состояния в число определяющих параметров модели необходимо ввести радиус закругления в сопряжениях паз – “гребешок” и определить аналогичные зависимости для нового набора параметров.

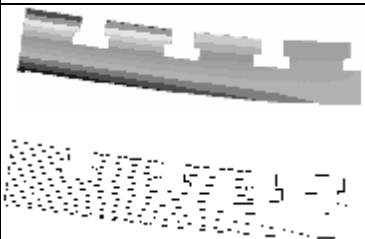
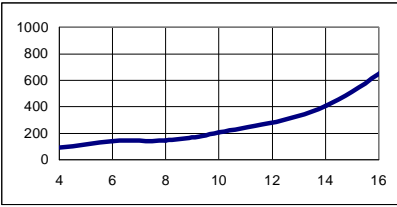
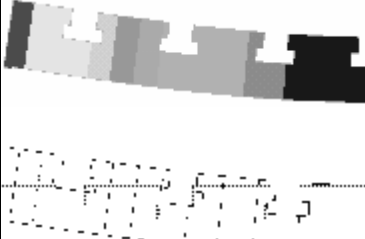
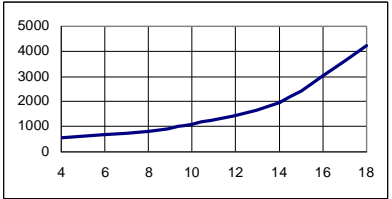
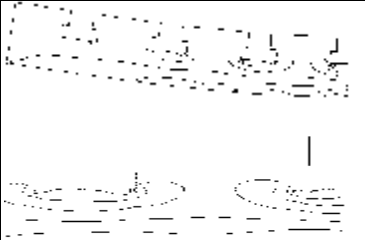
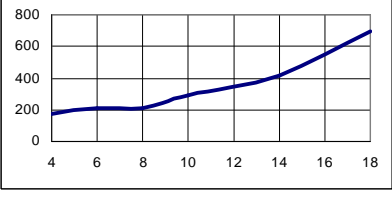
Аналогичные полученные результаты и при варьировании других параметров плиты. Сравнительно большего объема задача об определении зависимости параметров НДС полосы от всех параметров p_i .

В табл. 4 представлены этапы исследования жесткостных характеристик

базовой плиты при варьировании геометрических размеров и размеров конечных элементов, образующих конечно-элементную сетку.

Таблица 3

Перемещения и напряжения в полосе с Т-образными пазами

№	Параметр	Картина распределения (вариант 3, см. табл. 2)	Зависимость параметра от высоты плиты h_1 , мм
1	u_m , МКМ		
2	v_m , МКМ		
3	$\sigma_x^{(m)}$, МПа		

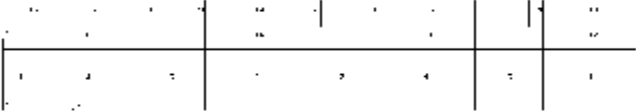
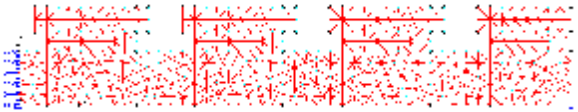


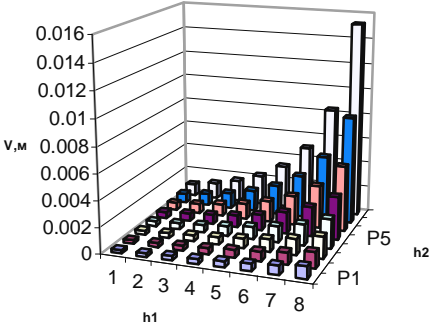
На рис.2 приведена зависимость максимальных прогибов полосы плиты от среднего размера конечного элемента для базового варианта конструкции. Видно, что уменьшение размера КЭ ниже 10^{-3} м не приводит к существенному изменению результатов, т.е. в данном случае нецелесообразно.

Полученные при многовариантных исследованиях результаты исследований жесткости плиты позволяют построить в параметрическом пространстве величину прогиба как функцию многих переменных. При необходимости множеством параметров можно расширить, и тогда

получаемое множество данных содержит полную информацию о жесткости целого класса плит.

Таблица 4

Этапы исследования напряженно-деформированного состояния базовых плит с Т-образными пазами

Название этапа	Результаты выполнения этапа
Построение геометрии	
Создание конечно-элементной сетки	
Распределение прогиба	
Распределение эквивалентных напряжений	
Зависимость максимальных прогибов (м) полосы от варьируемых параметров h_1, h_2 (мм)	

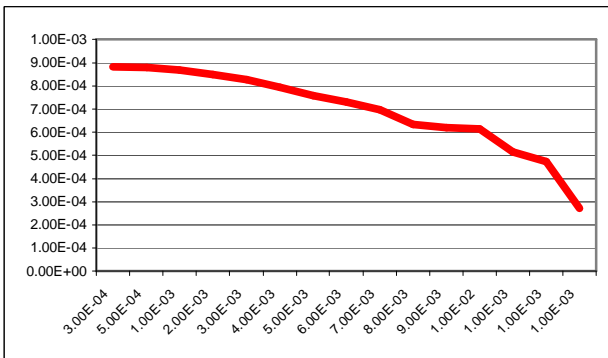
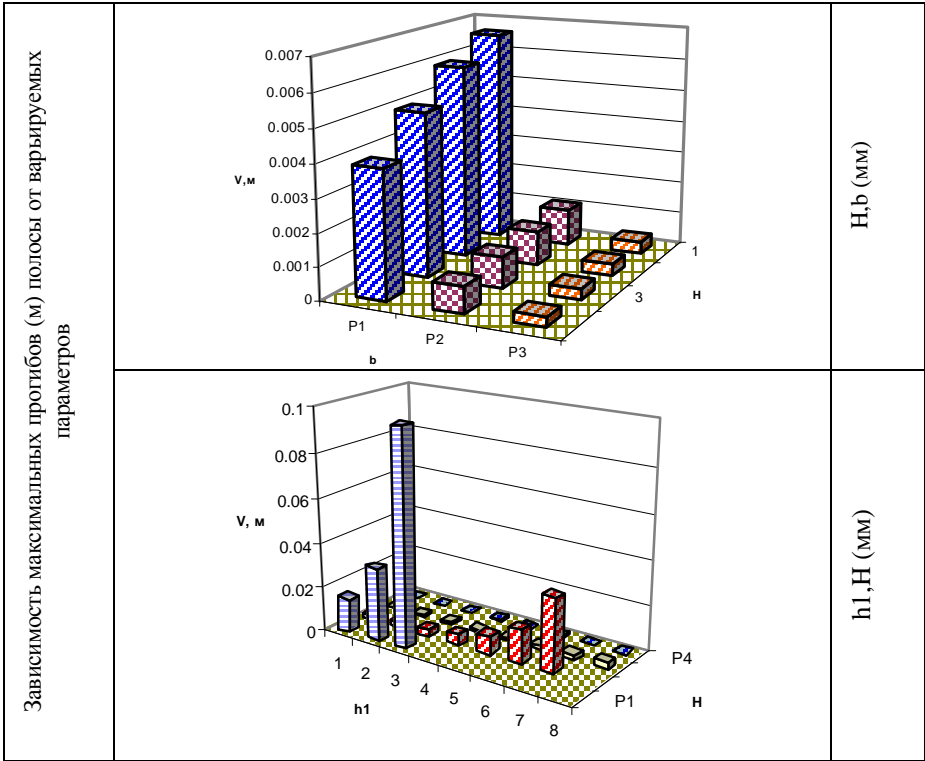


Рис. 2. Зависимость максимальных прогибов полосы плиты (м) от среднего размера конечного элемента

Заключение. Разработанная на основе предложенных в работе подходов специализированная система “СААС-БП” позволяет решить весь комплекс задач при проектировании базовых плит, а также при обосновании использования тех или иных типоразмеров плит при оснащении металлорежущих станков исходя из габаритов, формы, свойств материала обрабатываемых деталей на предприятиях отечественного машиностроения.

В частности, результаты проведенных расчетов использованы при проектировании различных систем приспособлений и сборок. Разработанная технология исследований может быть распространена на различные классы машиностроительных конструкций. При этом основным направлением дальнейших исследований является создание специализированных модулей и параметрических моделей для автоматизированного проектирования элементов сложных механических систем.

Список литературы. 1. Ткачук Н.А., Ряховский А.В., Кузнецова Л.Г., Ткачук Г.В. Влияние Т-образных пазов на прочностные и жесткостные характеристики базовых плит // Вопросы оборонной техники. – 1993. – Сер. 2, вып.3-4 (247–248). – С.28-35. **2.** Капустин А.А., Ткачук Н.А. Расчетно-экспериментальный метод исследования деформаций элементов механических систем // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ – 1999.– вып.53.– С.148-155. **3.** Ткачук Н.А. Комбинированные расчетно-экспериментальные методы исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологических систем // Механіка та машинобудування. – 1999. – № 1.– С.37-46. **4.** Ткачук Н.А. Экспериментальное определение характера граничных условий в сложных механических системах // Механіка та машинобудування. –2000. – № 1. – С.28-34. **5.** Ткачук Н.А. Расчетно-экспериментальный метод исследования напряженно-деформированного состояния элементов транспортных средств и технологических систем // Вісник Державного технічного університету сільського господарства. Тематичний випуск: “Механізація сільськогосподарського виробництва”. Збірник наукових праць Державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – вип.21. – С.20-29. **6.** Ткачук Н.А. Специализированные системы автоматизированного исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологической оснастки // Вісник Національного технічного університету “ХПИ”. Тематичний випуск: “Динаміка і міцність машин”. Збірник наукових праць НТУ “ХПИ”. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2003.– № 12. т.1.– С.166-171. **7.** Ряховский А.В., Бых А.И., Мовшович А.Я. Исследование точностных параметров изготовления элементов унифицированной технологической оснастки // Механіка та машинобудування.– 2003.– № 1.– Том 2.– С.308-312. **8.** Борончукова И.М., Гусев А.А. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения. – М.: Высшая школа, 1999. – 416 с. **8.** Кочетков А.М., Жолткевич Н.Д., Мовшович И.Я., Глуценко В.И. Концепция создания отраслевой системы ускоренной технологической подготовки производства на базе универсально-сборной перенастраиваемой технологической оснастки // Вопросы оборонной техники. – 1990. – Сер. 2, вып.10 (229).– С.3-7. **9.** Глуценко В.И., Кобзев А.С. Механизированная станочная оснастка – эффективное средство повышения производительности станков // Вопросы оборонной техники. – 1990. – Сер. 2, вып.10 (229).– С.8-13.

Поступила в редколлегию 21.12.2005