

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**Бондар Олег Валентинович**

УДК 621.791.039.001.5

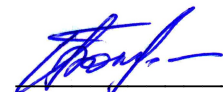
**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ЯКОСТІ СКЛАДАННЯ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ  
ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАЛЬНИХ  
ПРИСТОСУВАНЬ В УМОВАХ СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

05.02.08 – технологія машинобудування  
13 – механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 О.В. Бондар

Науковий керівник:  
Пермяков Олександр Анатолійович  
доктор технічних наук, професор

Харків – 2018

## АНОТАЦІЯ

*Бондар О.В.* Технологічне забезпечення якості складання нероз'ємних з'єднань при використанні переналагоджувальних пристосувань в умовах серійного виробництва. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування» (131 – Прикладна механіка). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню науково-технічної задачі забезпечення якості складання виробів, що мають нероз'ємні з'єднання, шляхом розширення технологічних можливостей і підвищення ефективності використання переналагоджуваних універсальних збірно-розбірних пристосувань в умовах серійного багатомономенклатурного виробництва.

Дана робота вперше розглядає в сучасних умовах машинобудування питання комплексного, науково обґрунтованого підходу до розробки конструкцій універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань і достовірного визначення їх основних конструктивно-технологічних і експлуатаційних параметрів, котрі забезпечують тривалу працездатність та якість виробів, що мають нероз'ємні з'єднання.

Метою дисертаційної роботи є забезпечення якості складання виробів, які мають нероз'ємні з'єднання, шляхом визначення раціональних параметрів елементів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань та закономірностей їх компонування при забезпеченні технологічної гнучкості і високої ефективності експлуатації в умовах серійного багатомономенклатурного виробництва.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі:

– дослідити умови експлуатації технологічного оснащення для складання виробів, які мають нероз'ємні з'єднання, виявити особливості конструкцій оборотних пристосувань і встановити вимоги до визначення раціональних параме-

трів елементів та компонувань, що забезпечують ефективність експлуатації в умовах серійного багатомініклатурного виробництва;

- удосконалити компоновки УЗРП шляхом доповнення елементами нової конструкції, що забезпечить необхідну якість складання нероз’ємних з’єднань виробів та технологічну гнучкість складального оснащення в умовах серійного багатомініклатурного виробництва;

- дослідити напружено-деформований стан базових плит універсальних збірно-розбірних пристосувань нової конструкції та працездатність з’єднання елементів таких пристосувань;

- на основі виконаних досліджень розробити методичні та практичні рекомендації щодо визначення раціональних параметрів елементів універсальних збірно-розбірних пристосувань та компоновок з них ефективного технологічного оснащення для складання виробів, що мають нероз’ємні з’єднання;

- результати роботи апробувати та впровадити у виробництво.

**У вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, розглянуто об’єкт і предмет дослідження, встановлено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

**Перший розділ** присвячений аналізу конструкцій і тенденціям розвитку збірних пристосувань, методикам проектування, розрахунку і стану досліджень цих пристосувань, а також теоретично-експериментальним методам, що використовуються при дослідженні напружено-деформованого стану оснащення.

Останнім часом у розвитку засобів технологічного оснащення чітко простежується тенденція переходу від традиційних пристосувань до переналагоджуваних пристосувань як більш гнучких і прогресивних. Підвищення ефективності оснащення в умовах багатомініклатурного серійного виробництва досягається шляхом удосконалення конструкцій універсальних збірно-розбірних пристосувань з метою створення широко універсального оснащення багаторазового використання.

**У другому розділі** аналізуються умови експлуатації, вимоги до конструкцій і критерії оцінки параметрів універсальних збірно-розбірних пристосувань.

Визначено основні критерії оцінки працездатності пристосувань. Внесено конструктивні зміни у базові і опорно-корпусні елементи пристосувань, характерною і відмінною ознакою яких є наявність у тілі елементів УЗРП наскрізних пазів.

Запропоновано способи з'єднання і фіксації елементів УЗРП для забезпечення максимального рівня збирання компоновок та обґрунтовано умови силової взаємодії елементів нової конструкції у компоновках пристосувань.

**У третьому розділі** приведена методика і результати теоретичних досліджень базових плит універсальних збірно-розбірних пристосувань.

Отримано аналітичний вираз для еквівалентної жорсткості базових плит.

Теоретично досліджено розподіли переміщень і напружень у базових плитах УЗРП при різних схемах навантаження в залежності від зміни їх конструктивних параметрів.

Визначено з урахуванням напружено-деформованого стану основні геометричні параметри елементів і ступінь їх впливу на міцність та жорсткість переналаджуваних пристосувань.

**У четвертому розділі** приведено методику і результати експериментальних досліджень працездатності та напружено-деформованого стану вузлів з'єднання опорно-корпусних елементів і базових плит, як найбільш відповідальних елементів універсальних збірно-розбірних пристосувань.

Отримані результати дозволили уточнити дані раніше проведених теоретичних досліджень, відпрацювати і сформулювати рекомендації щодо вибору оптимальних параметрів універсальних збірно-розбірних пристосувань.

**У п'ятому розділі** приведені результати виробничих випробувань переналаджуваних універсальних збірно-розбірних пристосувань, розрахунок техніко-економічної ефективності використання УЗРП та результати їх промислового впровадження.

Відповідно до поставленої мети та задач у роботі отримані наступні **результати**:

1. При системному аналізі науково-технічної задачі встановлено, що компоновки УЗРП різних серій повинні мати єдність принципової конструкції та відносну рівномірність, тривалу працездатність, а їх елементи повинні бути взаємозамінними з високим ступенем уніфікації. Працездатність компоновок пристосувань регламентується показниками міцності і жорсткості базових плит, а також надійністю з'єднань елементів конструкції.

2. З метою удосконалення компоновок УЗРП для підвищення їх технологічної гнучкості, працездатності та ефективності використання в умовах серійного багатомоделного виробництва запропоновано нову принципову конструкцію УЗРП, характерними ознаками якої є наявність в тілі елементів наскрізних пазів і кріпильно-притискних елементів у вигляді безазорних пальцевих і клинових з'єднань.

3. При дослідженні напружено-деформованого стану базових плит запропонованих конструкцій визначено картини і максимальні значення вертикальних переміщень та еквівалентних напружень в місцях прикладання згинальних моментів для найбільш поширених компоновальних схем пристосувань.

4. На основі теоретичних досліджень перфорованих базових плит визначено вплив їх основних геометричних параметрів на напружено-деформований стан. Встановлено ступінь впливу конструктивних елементів на жорсткість і міцність базових плит, визначено раціональні співвідношення їх геометричних параметрів.

Жорсткість і міцність базових і опорно-корпусних деталей УЗРП зі встановленими раціональними конструктивними параметрами забезпечують точність лінійних розмірів виробів, що збираються, у межах  $\pm 0,3$  мм.

5. На основі експериментальних досліджень працездатності з'єднань базових і корпусних елементів УЗРП при статичному і динамічному навантаженні (безазорне і клинове з'єднання) одержано реальну картину розподілу напружень і встановлено їх параметри, які нижчі за допустимі, що забезпечує необ-

хідну жорсткість, точність і працездатність пристосувань, аналогічну з'єднанням в нерозбірних пристосуваннях. Встановлено найбільш раціональні способи з'єднання основних елементів УЗРП.

6. Запропонована конструкція УЗРП розширює технологічні можливості їх застосування для різних типів збірних конструкцій, дозволяє знизити витрати і терміни підготовки виробництва нових виробів в умовах багатомоделювального серійного машинобудівного виробництва. Результати дисертаційної роботи впроваджені на двох підприємствах України.

**Наукова новизна отриманих результатів.** На основі системного аналізу і узагальнень досвіду проектування оборотного технологічного оснащення сформульовані, обґрунтовані, теоретично і практично розроблені принципи визначення раціональних компоновок та параметрів елементів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань, що забезпечують якість складання виробів, які мають нероз'ємні з'єднання, в умовах серійного багатомоделювального виробництва. Для цього:

- отримала подальший розвиток систематизація та уніфікація компоновальних схем оборотного технологічного оснащення, що дало змогу удосконалити компоновки універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань шляхом доповнення комплексу елементами нової конструкції для ефективного використання їх у серійному багатомоделювальному виробництві;

- удосконалено структуру корпусних елементів пристосувань та визначено їх раціональні параметри, які забезпечують технологічну гнучкість та ефективність використання в умовах серійного багатомоделювального виробництва;

- обґрунтовано умови силової взаємодії елементів у компоновках універсальних збірно-розбірних пристосувань при складанні виробів, що мають нероз'ємні з'єднання;

- вперше отримано аналітичний вираз для еквівалентної жорсткості базових плит пристосувань і визначено з урахуванням їх напружено-деформованого стану основні геометричні параметри та ступінь їх впливу на міцність і жорсткість, що дозволяє забезпечити необхідну якість складання та тривалу працездатність;

– вперше запропоновано систему багатокритеріального вибору раціональних компонок УЗРП з комплексу, доповненого елементами нової конструкції, та визначено їх приєднувальні розміри з урахуванням конструктивно-технологічних обмежень і умов експлуатації пристосувань.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у наступному:

– удосконалено принципову конструкцію універсальних збірно-розбірних пристосувань із використанням нових елементів компонок і конструкції базових плит, що задовольняє вимогам серійного виробництва;

– розроблено і впроваджено методичні та практичні рекомендації щодо визначення основних конструктивних параметрів універсальних збірно-розбірних пристосувань і їх раціональних значень;

– визначено область ефективного застосування запропонованих компонок універсальних збірно-розбірних пристосувань;

– визначено техніко-економічну ефективність застосування універсальних збірно-розбірних пристосувань.

*Ключові слова:* технологічний процес складання виробів, серійне виробництво, нероз’ємні з’єднання, переналагоджувані пристосування, якість, точність.

### **Список публікацій здобувача**

1. Мовшович А.Я. Конструкции универсальных сборно-разборных приспособлений для сборочно-сварочных работ (УСРП-С) / 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.

2. Мовшович А.Я. Исследование деформированного состояния базовых плит универсально-сборных приспособлений для сварочных работ и выбор рациональной схемы их опирания и закрепления / А.Я. Мовшович, Г.И. Ищенко, Ю.А. Черная, О.В. Бондарь // *Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. Нац. техн. ун-ту «ХП».* – Вип. 1 (22). – Х., 2012. – С. 247–251.

3. Кравченко С.И. Требования к конструкции и критерии оценки параметров универсальных сборно-разборных приспособлений / С.И. Кравченко, О.В. Бон-

дарь // Зб. наук. пр. Полтавського нац. техн. ун-ту ім. Ю. Кондратюка. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. – Вип. 5 (35). – Полтава, 2012. – С. 49–53.

4. Мовшович А.Я. Исследование параметров точности сборки универсально-сборной переналаживаемой оснастки / А.Я. Мовшович, Е.А. Фролов, В.В. Агарков, О.В. Бондарь // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – Москва. – 2013. – № 5, С. 36-39.

5. Фролов Е.А. Критерии оценки конструктивных и силовых параметров универсальных сварочных сборно-разборных приспособлений / Е.А. Фролов, С.И. Кравченко, О.В. Бондарь // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – № 3 (100). – С. 26–30.

6. Бондарь О.В. Расчет жесткости базовых плит переналаживаемой оснастки для сварочно-сборочных операций / О.В. Бондарь // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 59. – Х., 2013. – С. 65–71.

7. Фролов Е.А. Экспериментальные исследования работоспособности пальцевого соединения элементов универсальных сборно-разборных приспособлений для изготовления сварных конструкций / Е.А. Фролов, С.И. Кравченко, С.А. Григоренко, О.В. Бондарь // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 59. – Х., 2013. – С. 186–190.

8. Мовшович А.Я. Универсальные сборно-разборные приспособления для сборочно-сварочных работ / А.Я. Мовшович, М.Е. Федосеева, Ю.А. Черная, О.В. Бондарь // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 60. – Х., 2013. – С. 42–45.

9. Здор В.А. Универсально-сборные переналаживаемые приспособления для изготовления трубопроводов сложной конфигурации / В.А. Здор, Е.А. Фролов, О.В. Бондарь // Зб. наук. пр. Полтавського нац. техн. ун-ту ім. Ю. Кондратюка. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. – Вип. 2 (37). – Полтава, 2013. – С. 22–25.

10. Бондарь О.В. Определение факторов, влияющих на долговечность сборочно-сварочной переналаживаемой технологической оснастки / О.В. Бондарь // Зб. наук. пр. Полтавського нац. техн. ун-ту ім. Ю. Кондратюка. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. – Вип. 2 (41). – Полтава, 2014. – С. 15–18.

11. Фролов Е.А. Экспериментальное исследование напряженного состояния в соединении базовых и корпусных деталей обратимой сборочно-сварочной оснастки / 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. 215–223.

12. Кравченко С.И. Разработка методики и определение величины смещения приварок в изделиях, свариваемых в переналаживаемой сборочно-сварочной оснастке / С.И. Кравченко, О.В. Бондарь, А.М. Пирнат // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 70. – Х., 2015. – С. 107–112.

13. Фролов Е.А. Определение оптимальных размеров базовых плит переналаживаемой оснастки для сварочно-сборочных операций / 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. 70. – Х., 2015. – С. 130–135.

14. Пермяков А.А. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния базовых плит универсально-сборных переналаживаемых сварочных приспособлений / А.А. Пермяков, Е.А. Фролов, О.В. Бондарь // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 77. – Х., 2017. – С. 55–67.

15. Пермяков А.А. Оптимизация присоединительных размеров универсальных сборно-разборных переналаживаемых приспособлений / А.А. Пермяков, Е.А. Фролов, О.В. Бондарь // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 78. – Х., 2017. – С. 102–109.

16. Бондарь О.В. Универсальные сборно-разборные приспособления для сварочного производства / О.В. Бондарь // Сучасні технології в промисловому виробництві: матеріали II Всеукраїнської міжвузівської наук.-техн. конф., Суми; СумДУ, 17–20 квітня 2012 р. – Ч. 1. – С. 142.

17. Фролов Е.А. Сборочно-сварочная переналаживаемая оснастка в машиностроении / Е.А. Фролов, О.В. Бондарь, А.М. Пирнат // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: матеріали III Міжнар. наук.-техн. конф., Полтава: ПНТУ; Білгород: НДУ «БілДУ»; Х.: ДП «ХНДІ ТМ»; К.: НТУ; Кіровоград: КЛІА НАУ, 11–12 квітня 2013 р. – С. 71–72.

18. Фролов Е.А. Научно-технологические аспекты конструирования гибких производственных систем для автоматизированных производств / Е.А. Фролов, О.В. Бондарь, В.В. Агарков // Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении» «Механообработка. Севастополь – 2013»: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Севастополь, 20–24 мая 2013 г. – С. 53–54.

19. Фролов Е.А. Особенности конструирования универсально-сборной переналаживаемой оснастки для гибких производственных систем в современных условиях / Е.А. Фролов, О.В. Бондарь, О.Г. Носенко, Е.С. Дерябкина // Качество технологий – качество жизни: сб. тезисов VI Междунар. науч.-практ. конф., 30–31 мая 2013 г. – Х., 2013. – С. 42–43.

20. Мовшович А.Я. Универсальные сборно-разборные приспособления для сборочно-сварочных работ / А.Я. Мовшович, М.Е. Федосеева, Ю.А. Черная, О.В. Бондарь // Новые технологии в машиностроении: тр. XXIII Междунар. конф., 3–8 сентября, 2013 г. – Харьков-Рыбачье, 2013. – С. 16.

21. Бондарь О.В. Расчет жесткости базовых плит переналаживаемой оснастки для сварочно-сборочных операций / О.В. Бондарь // Новые технологии в машиностроении: тр. XXIII Междунар. конф., 3–8 сентября, 2013 г. – Харьков-Рыбачье, 2013. – С. 19.

22. Фролов Е.А. Основные направления развития переналаживаемой оснастки в условиях рыночной экономики / Е.А. Фролов, С.И. Кравченко,

О.В. Бондарь // Университетская наука – 2014: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. [в 4-х томах]. – Мариуполь, 2014. – Т. 1. – С. 170–171.

23. Фролов Е.А. Определение оптимальных размеров базовых плит переналаживаемой сборочно-сварочной оснастки / Е.А. Фролов, О.В. Бондарь, А.М. Пирнат // Високі технології в машинобудуванні: тези I Всеукраїнської наук.-техн. конф., 27–28 жовтня 2015 р. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С. 4–5.

24. Фролов Е.А. Экспериментальное исследование напряженного состояния в клиновом соединении элементов обратимой сборочно-сварочной оснастки / Е.А. Фролов, О.В. Бондарь // Високі технології в машинобудуванні: тези I Всеукраїнської наук.-техн. конф., 27–28 жовтня 2015 р. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С. 6–7.

25. Фролов Є.А. Дослідження робочих процесів елементів універсальних пристосувань, що з'єднуються без зазору / Є.А. Фролов, О.В. Бондар // Міжнар. наук.-практ. конф. «Kondratyuk Innovations XX – XXI», 24–26 травня, 2017 р. – Полтава, ПолтНТУ, 2017. – С. 13.

## ANNOTATION

Bondar O.V. Technological assurance of the quality of non-detachable joints using re-adjusting devices in the conditions of serial production.– Qualification scientific work with the manuscript copyright.

Thesis for the degree of Candidate of Engineering Sciences (Doctor of Philosophy) in specialty 05.02.08 "Manufacturing engineering" (131 – Applied Mechanics). – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2018.

The dissertation is devoted to the solution of scientific and technical problems to ensure the quality assurance of products by having integral connections, expanding technological possibilities and increasing the efficiency of universal collapsible reconfigurable devices in the conditions of serial multi-nomenclature production.

This work is for the first time considering in modern conditions of machine building the question of an integrated, scientifically grounded approach to the development of designs of universal collapsible reconfigurable devices and the reliable determination of their main structural, technological and operational parameters, which provide long-term performance and quality of products that have undivided connections.

The purpose of the dissertation is to ensure the quality of assembling products that have undivided connections by determining the rational parameters of the elements of universal collapsible reconfigurable devices and the patterns of their layout while ensuring technological flexibility and high efficiency of operation in the conditions of serial multi-nomenclature production.

To achieve the goal, the following tasks were formulated:

- to investigate the operating conditions of technological equipment for the assembly of products which are having undivided connections, to identify the features of the structures of reversible devices and to establish requirements for the definition of rational parameters of elements and layouts, which ensure the efficiency of operation in the conditions of serial multi-nomenclature production;

- to improve the layout of the universal collapsible reconfigurable devices by adding elements of the new construction, which will provide the necessary quality of

assembly of non-detachable joints of products and technological flexibility of assembly equipment in the conditions of serial multi-nomenclature production;

- to investigate the stressed-deformed condition of the base plates of universal collapsible devices of a new construction and the ability to connect the elements of such devices;

- based on the performed researches, to develop methodological and practical recommendations for determining the rational parameters of elements of universal collapsible devices and assemblies from them of effective technological equipment for assembly of products having undivided connections;

- test the results and introduce them into production.

**The introduction** substantiates the relevance of the dissertation, formulates the purpose and objectives of the research, examines the object and subject of the research, establishes the scientific novelty and the practical significance of the results obtained, the personal contribution of the applicant, provides information about testing, publications, structure and scope of work.

**The first section** is devoted to the analysis of constructions and trends in the development of collapsible devices, construction methods, calculation and state of research of these devices, as well as theoretical and experimental methods used in the study of the stress-strain state of equipment.

Recently, the development of tools for technological equipment clearly follows the tendency of transition from traditional devices to over-the-hooded devices as more flexible and progressive. Improving the efficiency of equipment in the conditions of multi-nomenclature serial production is achieved by improving the design of universal assembly collapsible devices in order to create a widely versatile reusable equipment.

**The second section** analyzes the operating conditions, requirements for constructs and criteria for evaluating the parameters of universal collapsible devices.

The basic criteria of the estimation of the working capacity of adaptations are determined. Structural changes in base and support-case elements of adaptations have been made, the characteristic and distinctive feature of which is the presence in the

body of the elements of universal collapsible reconfigurable devices through the grooves.

The ways of connecting and fixing the elements of the universal collapsible reconfigurable devices are proposed for ensuring the maximum level of assembly of the layouts, and the conditions of the force interaction of the elements of the new construction in the arrangements of the devices are grounded.

**The third section** presents the methodology and results of theoretical researches of base plates of universal collapsible devices.

An analytical expression for the equivalent stiffness of base plates is obtained.

The distributions of displacements and stresses in the base plates of the universal collapsible reconfigurable devices under different load patterns, as a function of the change in their construction parameters, have been theoretically investigated.

Depending on the stress-strain state, the basic geometric parameters of the elements and their degree of influence on the strength and stiffness of the reconfigurable devices are determined.

**In the fourth section**, the method and results of experimental studies of workability and stress-strain state of the connecting units of support-housing elements and base plates, as the most important elements of universal collapsible devices, are given.

The obtained results allowed to clarify the data of previous theoretical researches, to work out and formulate recommendations on the choice of optimal parameters of universal collapsible devices.

**The fifth section** presents the results of industrial tests of reconfigurable universal collapsible devices, calculations of technical and economic efficiency of the use of these devices and the results of their industrial implementation.

In accordance with the set goals and tasks in the work the following **results** were obtained:

1. In the systematic analysis of the scientific and technical problem, it has been established that the layouts of the universal collapsible devices of different series should have the unity of the basic construction and relative equilibrium, long-term

efficiency, and their elements should be interchangeable with a high degree of unification. The efficiency of the layout of the devices is regulated by the strength and stiffness of the base plates, as well as the reliability of the joints of the structural elements.

2. With a view to improving the layout of the universal collapsible reconfigurable devices to improve their technological flexibility, workability and efficiency in the use of serial multi-nomenclature production, a new conceptual design of the collapsible devices is proposed, the characteristic features of which are the presence in the body of the elements of the through grooves and fastening-clamping elements in the form of undisturbed finger and wedge unions.

3. In the study of the stress-strain state of the base plates of the proposed structures, the patterns and the maximum values of vertical displacements and equivalent stresses in the places of application of bending moments for the most common layout schemes of adaptations are determined.

4. On the basis of theoretical studies of perforated base plates, the influence of their basic geometric parameters on the stress-strain state is determined. The degree of influence of structural elements on the stiffness and strength of base plates is determined, rational proportions of their geometric parameters are determined.

The stiffness and durability of the base and support-housing parts of the universal collapsible reconfigurable devices with the established rational structural parameters ensure the accuracy of the linear dimensions of the products collected, within  $\pm 0,3$  mm.

5. On the basis of experimental research of the efficiency of the connections of the base and case elements of the universal collapsible devices with static and dynamic load (unmanned and wedge connection), a real picture of the voltage distribution is obtained and their parameters are set lower than the permissible ones, which provides the necessary stiffness, accuracy and the performance of adaptations, similar to the connection in collapsible fixtures. The most rational ways of connecting the main elements of the collapsible devices are established.

6. The proposed of universal collapsible devices constructions expands technological possibilities of their application for various types of prefabricated structures, which allows to reduce costs and timing of preparation of production of new products in the conditions of multi-nomenclature serial machine-building productions. The results of dissertation work are implemented at two enterprises of Ukraine.

**Scientific novelty of the obtained results.** On the basis of system analysis and generalizations of the designing experience of circulating technological equipment, the principles of the definition of rational layouts and parameters of elements of universal collapsible devices, removable adaptable devices, which provide the quality assembling of products having integral connections, in the conditions, are formulated, substantiated, theoretically and practically developed in terms of serial multi-nomenclature production. For this:

- further development of the systematization and unification of compilation schemes of reversible technological equipment, which made it possible to improve the layout of universal collapsible reconfigurable adaptations by completing the kit with elements of a new construction for their efficient use in serial multi-nomenclature production;

- the structure of the case elements of the devices has been improved and their rational parameters are determined, which provide technological flexibility and efficiency in the conditions of serial multi-nomenclature production;

- the conditions of the force interaction of the elements in the layouts of the universal collapsible devices during the compilation of products having integral connections are substantiated;

- for the first time an analytical expression for the equivalent stiffness of base plates has been obtained and the basic geometric parameters and their degree of impact on durability and stiffness are determined taking into account their stress-strain state, which ensures the required quality of assembly and long-term efficiency;

- for the first time a system of multicriteria choice of rational layouts of universal collapsible reconfigurable devices from a complete set supplemented by elements of a new construction was proposed, and their attachment sizes were determined tak-

ing into account structural and technological constraints and operating conditions of adaptations.

**The practical value of the results** obtained is as follows:

- the basic construction of universal collapsible devices with the use of new elements of the layout and construction of the base plates, which satisfies the requirements of serial production, has been improved;
- methodological and practical recommendations for the determination of the basic construction parameters of universal collapsible devices and their rational values have been developed and implemented;
- the area of effective application of the proposed layouts of universal collapsible devices;
- techno-economic efficiency of application of universal collapsible devices has been determined.

*Keywords:* technological process of assembly of products, serial production, non-detachable connections, adjustable adaptations, quality, accuracy.

### **List of publisher publications**

1. Movshovich A.Ya. Konstruktsii universalnykh sborno-razbornykh prispobleniy dlya sbornochno-svarochnykh rabot (USRP-S) / A.Ya. Movshovich, K.A. Izotova, Yu.A. Chernaya, O.V. Bondar // Mashynobuduvannia: zb. nauk. pr. Ukrainskoi inzhenerno-ped. akad. – № 9. – Kh., 2012. – S. 148–161.

2. Movshovich A.Ya. Issledovanie deformirovannogo sostoyaniya bazovykh plit universalno-sbornykh prispobleniy dlya svarochnykh rabot i vyibor ratsionalnoy shemy ih opiraniya i zakrepleniya / A.Ya. Movshovich, G.I. Ischenko, Yu.A. Chernaya, O.V. Bondar // Vysoki tekhnolohii v mashynobuduvanni: zb. nauk. pr. Nats. tekhn. un-tu «KhPI». – Vyp. 1 (22). – Kh., 2012. – S. 247–251.

3. Kravchenko S.I. Trebovaniya k konstruktsii i kriterii otsenki parametrov universalnykh sborno-razbornykh prispobleniy / S.I. Kravchenko, O.V. Bondar // Zb. nauk. pr. Poltavskoho nats. tekhn. un-tu im. Yu. Kondratiuka. Ser. Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo. – Vyp. 5 (35). – Poltava, 2012. – S. 49–53.

4. Movshovich A.Ya. Issledovanie parametrov tochnosti sborki universalno-sbornoy perenalazhivaemoy osnastki / A.Ya. Movshovich, Ye.A. Frolov, V.V. Agarkov, O.V. Bondar // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem. – M.: – 2013. – № 5, S. 36–39.

5. Frolov Ye.A. Kriterii otsenki konstruktivnykh i silovykh parametrov universalnykh svarochnykh sborno-razbornykh prispособleniy / Ye.A. Frolov, S.I. Kravchenko, O.V. Bondar // Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2013. – № 3 (100). – S. 26–30.

6. Bondar O.V. Raschet zhestkosti bazovykh plit perenalazhivaemoy osnastki dlya svarochno-sborochnykh operatsiy / O.V. Bondar // Otkryitye informatsionnyie i kompyuternyye tekhnologii: sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N.Ye. Zhukovskogo «KhAI». – Vyp. 59. – Kh., 2013. – S. 65–71.

7. Frolov Ye.A. Eksperimentalnyie issledovaniya rabotosposobnosti paltseвого soedineniya elementov universalnykh sborno-razbornykh prispособleniy dlya izgotovleniya svarnykh konstruksiy / Ye.A. Frolov, S.I. Kravchenko, S.A. Grigorenko, O.V. Bondar // Otkryitye informatsionnyie i kompyuternyye tekhnologii: sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N.Ye. Zhukovskogo «KhAI». – Vyp. 59. – Kh., 2013. – S. 186–190.

8. Movshovich A.Ya. Universalnyie sborno-razbornyye prispособleniya dlya sborochno-svarochnykh rabot / A.Ya. Movshovich, M.E. Fedoseeva, Yu.A. Chernaya, O.V. Bondar // Otkryitye informatsionnyie i kompyuternyye tekhnologii: sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N.Ye. Zhukovskogo «KhAI». – Vyp. 60. – Kh., 2013. – S. 42–45.

9. Zdor V.A. Universalno-sbornyye perenalazhivaemyie prispособleniya dlya izgotovleniya truboprovodov slozhnoy konfiguratsii / V.A. Zdor, Ye.A. Frolov, O.V. Bondar // Zb. nauk. pr. Poltavskoho nats. tekhn. un-tu im. Yu. Kondratiuka. Ser. Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo. – Vyp. 2 (37). – Poltava, 2013. – S. 22–25.

10. Bondar O.V. Opredelenie faktorov, vliyayuschih na dolgovechnost sborochno-svarochnoy perenalazhivaemoy tekhnologicheskoy osnastki / O.V. Bondar

// Zb. nauk. pr. Poltavskoho nats. tekhn. un-tu im. Yu. Kondratiuka. Ser. Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo. – Vyp. 2 (41). – Poltava, 2014. – S. 15–18.

11. Frolov Ye.A. Eksperimentalnoe issledovanie napryazhennogo sostoyaniya v soedinenii bazovyih i korpusnyih detaley obratimoy sborochno-svarochnoy osnastki / Ye.A. Frolov, O.V. Bondar, A.M. Pirnat // Otkryityie informatsionnyie i kompyuternyie tehnologii: sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N.Ye. Zhukovskogo «KhAI». – Vyp. 69. – Kh., 2015. – S. 215–223.

12. Kravchenko S.I. Razrabotka metodiki i opredelenie velichiny smescheniya privarok v izdeliyah, svarivaemyih v perenalazhivaemoy sborochno-svarochnoy osnastke / S.I. Kravchenko, O.V. Bondar, A.M. Pirnat // Otkryityie informatsionnyie i kompyuternyie tehnologii: sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N.Ye. Zhukovskogo «KhAI». – Vyp. 70. – Kh., 2015. – S. 107–112.

13. Frolov Ye.A. Opredelenie optimalnyih razmerov bazovyih plit perenalazhivaemoy osnastki dlya svarochno-sborochnyih operatsiy / Ye.A. Frolov, O.V. Bondar, A.M. Pirnat // Otkryityie informatsionnyie i kompyuternyie tehnologii: sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N.Ye. Zhukovskogo «KhAI». – Vyp. 70. – Kh., 2015. – S. 130–135.

14. Permyakov A.A. Eksperimentalnoe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya bazovyih plit universalno-sbornyih perenalazhivaemyih svarochnyih prisposobleniy / A.A. Permyakov, Ye.A. Frolov, O.V. Bondar // Otkryityie informatsionnyie i kompyuternyie tehnologii: sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N.Ye. Zhukovskogo «KhAI». – Vyp. 77. – Kh., 2017. – S. 55–67.

15. Permyakov A.A. Optimizatsiya prisoedinitelnyih razmerov universalnyih sborno-razbornyih perenalazhivaemyih prisposobleniy / A.A. Permyakov, Ye.A. Frolov, O.V. Bondar // Otkryityie informatsionnyie i kompyuternyie tehnologii: sb. nauch. tr. Nats. aerokosm. un-ta im. N.Ye. Zhukovskogo «KhAI». – Vyp. 78. – Kh., 2017. – S. 102–109.

16. Bondar O.V. Universalnyie sborno-razbornyie prisposobleniya dlya svarochnogo proizvodstva / O.V. Bondar // Suchasni tehnolohii v promyslovomu vy-

robnytvstvi: materialy II Vseukrainskoi mizhvuzivskoi nauk.-tehn. konf., Sumy; SumDU, 17–20 kvitnia 2012 r. – Ch. 1. – S. 142.

17. Frolov Ye.A. Sborochno-svarochnaya perenalazhivaemaya osnastka v mashi-nostroenii / Ye.A. Frolov, O.V. Bondar, A.M. Pirnat // Suchasni napriamy rozvytku informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii ta zasobiv upravlinnia: materialy III Mizhnar. nauk. tekhn. konf., Poltava: PNTU; Bilhorod: NDU «BilDU»; Kh.: DP «KhNDI TM»; K.: NTU; Kirovohrad: KLA NAU, 11–12 kvitnia 2013 r. – S. 71–72.

18. Frolov Ye.A. Nauchno-tehnologicheskie aspekty konstruirovaniya gibkih proizvodstvennykh sistem dlya avtomatizirovannykh proizvodstv / Ye.A. Frolov, O.V. Bondar, V.V. Agarkov // Sovremennyye napravleniya i perspektivy razvitiya tekhnologiy obrabotki i oborudovaniya v mashinostroenii» «Mehanoobrabotka. Sevastopol – 2013»: materialy Mezhdunar. nauch. tehn. konf., Sevastopol, 20–24 maya 2013 g. – S. 53–54.

19. Frolov Ye.A. Osobennosti konstruirovaniya universalno-sbornoy perenalazhivaemoy osnastki dlya gibkih proizvodstvennykh sistem v sovremennykh usloviyah / Ye.A. Frolov, O.V. Bondar, O.G. Nosenko, Ye.S. Deryabkina // Kachestvo tekhnologiy – kachestvo zhizni: sb. tezisov VI Mezhdunar. nauch. prakt. konf., 30–31 maya 2013 g. – Kh., 2013. – S. 42–43.

20. Movshovich A.Ya. Universalnyie sborno-razbornyye prisposobleniya dlya sborochno-svarochnykh rabot / A.Ya. Movshovich, M.Ye. Fedoseeva, Yu.A. Chernaya, O.V. Bondar // Novyye tekhnologii v mashinostroenii: tr. XXIII Mezhdunar. konf., 3–8 sentyabrya, 2013 g. – Kharkov-Ryibache, 2013. – S. 16.

21. Bondar O.V. Raschet zhestkosti bazovykh plit perenalazhivaemoy os-nastki dlya svarochno-sborochnykh operatsiy / O.V. Bondar // Novyye tekhnologii v mashinostroenii: tr. XXIII Mezhdunar. konf., 3–8 sentyabrya, 2013 g. – Kharkov-Ryibache, 2013. – S. 19.

22. Frolov Ye.A. Osnovnyie napravleniya razvitiya perenalazhivaemoy osnastki v usloviyah ryinochnoy ekonomiki / Ye.A. Frolov, S.I. Kravchenko, O.V. Bondar //

Universitetskaya nauka – 2014: tez. dokl. Mezhdunar. nauch. tehn. konf. [v 4-h tomah]. – Mariupol, 2014. – T. 1. – S. 170–171.

23. Frolov Ye.A. Opredelenie optimalnykh razmerov bazovykh plit perenalazhivaemoy sborochno-svarochnoy osnastki / Ye.A. Frolov, O.V. Bondar, A.M. Pirnat // Vysoki tekhnolohii v mashynobuduvanni: tezy I Vseukrainskoi nauk. tekhn. konf., 27–28 zhovtnia 2015 r. – Poltava: PoltNTU, 2015. – S. 4–5.

24. Frolov Ye.A. Eksperimentalnoe issledovanie napryazhennogo sostoyaniya v klinovom soedinenii elementov obratimoy sborochno-svarochnoy osnastki / Ye.A. Frolov, O.V. Bondar // Vysoki tekhnolohii v mashynobuduvanni: tezy I Vseukrainskoi nauk. tekhn. konf., 27–28 zhovtnia 2015 r. – Poltava: PoltNTU, 2015. – S. 6–7.

25. Frolov Ye.A. Doslidzhennia robochykh protsesiv elementiv universalnykh prystosuvan, shcho ziednuiutsia bez zazoru / Ye.A. Frolov, O.V. Bondar // Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Kondratyuk Innovations XX – XXI», 24–26 travnia, 2017 r. – Poltava, PoltNTU, 2017. – S. 13.

## ЗМІСТ

---

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	12
1.1 Аналіз конструкцій і тенденції розвитку складально-зварювальних пристосувань .....	12
1.2 Методика проектування, розрахунку і стан досліджень складально-зварювальних пристосувань.....	20
1.3 Теоретичні й експериментальні методи, що застосовуються при дослідженні напружено-деформованого стану технологічного оснащення .....	25
1.4 Висновки .....	29
1.5 Постановка мети і задач досліджень.....	30
РОЗДІЛ 2 УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗБІРНО-РОЗБІРНИХ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ПРИСТОСУВАНЬ .....	32
2.1 Призначення, особливості експлуатації й область застосування універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань.....	32
2.2 Принципова конструкція, структурний склад і особливості універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань.....	37
2.3 Силіві взаємодії у компоновках універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань.....	43
2.4 Визначення величин розрахункових навантажень.....	47
2.5 Вимоги до конструкції і критерії оцінки параметрів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань.....	51
2.6 Висновки по розділу .....	56

РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ БАЗОВИХ	
ПЛИТ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗБІРНО-РОЗБІРНИХ	
ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ПРИСТОСУВАНЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	
ЇХ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ..... 58	
3.1	Стан дослідження..... 58
3.2	Постановка задачі ..... 63
3.3	Виведення формул для еквівалентних жорсткостей досліджуваних пластин ..... 66
3.4	Побудова рішення задачі про вигин базових плит..... 71
3.5	Дослідження напружено-деформованого стану і визначення основних параметрів базових плит ..... 78
3.5.1	Вплив висоти облямовуючого ребра на напружений стан базових плит ..... 79
3.5.2	Вплив товщини пластини на напружений стан базових плит ... 82
3.5.3	Вплив висоти облямовуючого ребра і товщини пластини на деформований стан базових плит ..... 84
3.5.4	Аналіз напружено-деформованого стану та визначення конструктивних розмірів базових плит універсальних збірно-розбірних пристосувань..... 87
3.6	Висновки по розділу ..... 93
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ	
КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗБІРНО-	
РОЗБІРНИХ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ПРИСТОСУВАНЬ ..... 94	
4.1	Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану базових плит ..... 94
4.1.1	Методика проведення досліджень ..... 94
4.1.2	Результати досліджень ..... 102

4.1.3	Порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень .....	112
4.2	Дослідження працездатності з'єднання елементів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань .....	114
4.2.1	Методика проведення досліджень .....	114
4.2.2	Дослідження працездатності пальцевих з'єднань .....	118
4.2.3	Дослідження працездатності беззazorного з'єднання елементів пристосувань .....	120
4.2.4	Дослідження працездатності клинового з'єднання елементів пристосувань .....	124
4.3	Дослідження напруженого стану у з'єднанні базових і корпусних деталей.....	128
4.3.1	Методика проведення досліджень .....	129
4.3.2	Результати досліджень .....	134
4.4	Чисельний розрахунок і взаємозв'язок основних параметрів кріпильно-притискних елементів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань.....	137
4.5	Дослідження взаємозв'язку лінійних розмірів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань .....	140
4.6	Оптимізація приєднувальних розмірів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань .....	142
4.7	Чисельний розрахунок параметрів клинового з'єднання елементів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань.....	148
4.8	Дослідження взаємозв'язку основних розмірів корпусних елементів .....	152
4.9	Практичні рекомендації.....	159
4.10	Висновки по розділу .....	162

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ. ВИРОБНИЧІ ВИПРОБУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗБІРНО-РОЗБІРНИХ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ПРИСТОСУВАНЬ .....	164
5.1 Методика проведення випробувань .....	164
5.2 Результати виробничих випробувань .....	165
5.3 Впровадження та економічна ефективність універсальних збірно- розбірних переналагоджуваних пристосувань .....	169
ВИСНОВКИ.....	176
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	178
ДОДАТКИ.....	189