



$$P_2 = P \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right)_{x=x_T} \quad , \quad M_y = -P_x(v)_{x=x_T} = -P(v)_{y=y_T}$$
$$q_2 = P \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right)_{x=x_T} \delta(x, x_T)$$
$$m_y = -P(v)_{x=x_T} \delta(x, x_T)$$



# НАУКА ДЛЯ КОСМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Інформаційний бюлетень

Координаційної ради з організації спільних робіт

ДП «КБ» «Південне» і наукових установ НАН України

## №1-2 2020



$$\delta = \delta_0(t) + \sum_{i=1}^n V_i \delta_i(t)$$



Національна академія наук України  
ДП «КБ «Південне»

НАУКА ДЛЯ КОСМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Інформаційний бюлетень  
Координаційної ради з організації спільних робіт  
ДП «КБ «Південне» і наукових установ НАН України

№ 1-2

2020 р.

ЗМІСТ

ВСТУПНЕ СЛОВО.....	1
ПІДСУМКИ СПІЛЬНИХ РОБІТ ЗА 2020 РІК	
«Перспективи і стратегія діяльності ракетно-космічної галузі».....	2
«Балістика, аеродинаміка і теплообмін».....	5
«Навантаження і міцність конструкцій».....	7
«Нові матеріали та перспективні технології».....	20
«Основні проблеми ракетних двигунів на твердому паливі».....	28
«Рідинні рушійні установки».....	30
«Супутникові системи наукового та спеціального призначення».....	33
«Системи керування».....	35
«Історія та популяризація діяльності ракетно-космічної галузі».....	38
НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ:	
План спільної науково-дослідної діяльності ДП «КБ «Південне» і наукових установ НАН України на 2021 рік.....	40

## ВСТУПНЕ СЛОВО



### **Шановні колеги!**

*Перед Вами черговий випуск інформаційного бюлетеня Координаційної ради, який відображає хід і результати проведених у 2020 році спільних досліджень у рамках Генеральної угоди про науково-технічне співробітництво між НАН України та ДП «КБ «Південне» в галузі створення ракетно-космічної техніки.*

*На жаль, цей 2020 рік став не лише роком нових досягнень, а й складних випробувань, викликів та втрат. Внаслідок світової пандемії COVID-19 та введених у багатьох країнах карантинних обмежень майже на півроку було призупинено виконання контрактів, замовлень, спільних досліджень між Національною академією наук і Конструкторським бюро «Південне».*

*У серпні 2020 року пішов з життя президент Національної академії наук, видатний вчений світового рівня, людина-легенда Борис Євгенович Патон, а в листопаді минулого року не стало Генерального директора КБ «Південне», видатного конструктора РКТ Олександра Вікторовича Дегтярьова. З великим сумом сприйняла ці втрати наукова спільнота країни і світу.*

*Незважаючи на труднощі та негаразди, у край складних економічних умовах співпраця між науковими установами НАН України та КБ «Південне» продовжує сприяти збереженню науково-технічного потенціалу нашої країни, впровадженню наукових розробок у космічні проекти.*

*У 2020 році було отримано ряд важливих результатів: проведено дослідження щодо інноваційної технології генерації водню та кисню для блоків енергозабезпечення місячної бази; проведено роботи з дослідження міцності та стійкості оболонкових конструкцій із композиційних матеріалів; проведено відпрацювання технології лазерного зварювання і наплавлення макетних соплових блоків рідинних ракетних двигунів; розроблено методичне забезпечення, необхідне для вирішення завдань синтезу алгоритмів керування сервісного космічного апарата.*

*Через карантинні обмеження в цьому році було скасовано проведення щорічних засідань Координаційної ради з організації спільних робіт, а План спільної науково-дослідної діяльності КБ «Південне» та наукових установ НАН України на 2021 рік було погоджено з керівниками робочих груп від Національної академії у дистанційному режимі.*

*Високий рівень досягнутих результатів і надзвичайна теплота сформованих взаємовідносин дозволяють нам з великим оптимізмом дивитися в майбутнє..*

*В.П. Горбулін,  
перший віце-президент  
НАН України,  
академік НАН України*



## ПІДСУМКИ СПІЛЬНИХ РОБІТ ЗА 2020 РІК

### Напрямок №1 «Перспективи і стратегія діяльності ракетно-космічної галузі»

Керівники робочої групи:

**Горбулін В.П.** — перший віце-президент НАН України, академік НАН України;

**Кушнар'єв О.П.** — перший заступник Генерального конструктора-Генерального директора ДП «КБ «Південне» з системного проектування

Інститут технічної механіки НАН і ДКА України за планом спільної науково-дослідної діяльності ДП «КБ «Південне» і наукових установ НАН України у 2020 р. продовжують розробляння та апробацію методичного забезпечення для визначення на початковому етапі проектування основних параметрів, програм керування і льотно-технічних характеристик ракетних об'єктів різного призначення.

Як керований ракетний об'єкт (КРО) розглядають одноступеневі і двоступеневі ракети з маршовими ракетними двигунами на твердому паливі (РДТП), що забезпечують доставляння маси корисного вантажу в задану точку простору з необхідними значеннями кінематичних параметрів руху на різних відрізках траєкторії і в кінці польоту. Як цільову функцію для вибору основних проектних параметрів, параметрів траєкторії і програм керування розглядають дальність польоту. Параметри, що оптимізують, і програми керування рухом КРО обирають виходячи з умови забезпечення максимального значення цільової функції. Оптимізацію виконують в автоматичному режимі детермінованим методом конфігурацій нульового порядку.

Порівняно габаритно-масові, енергетичні та аеробалістичні характеристики двох варіантів КРО, виконаних за одноступеневою і двоступеневою схемами.

Аеродинамічні, габаритно-масові, енергетичні та аеробалістичні характеристики під час проведення досліджень визначали для компоновальних схем КРО. Для одноступеневого КРО розглядали нормальну схему з переднім розташуванням крил на корпусі маршового РДТП і аеродинамічними рулями на хвостовому відсіку, які використовували для забезпечення керованого польоту КРО. Для двоступеневого КРО розглядали нормальну схему з крилами, розташованими на корпусі маршового РДТП другого ступеня, і аеродинамічними рулями на хвостовому відсіку другого ступеня. - -

Порівняльний аналіз двох варіантів КРО під час проведення досліджень здійснювали за таких умов і обмежень:

- стартові маси одноступеневого і двоступеневого КРО прийняті однаковими і рівними 2500 кг;
- маси головних частин одноступеневого і двоступеневого КРО прийняті однаковими і рівними 600 кг;
- умови старту і схема польоту за аеробалістичною траєкторією при похилому старті для двох розглянутих варіантів КРО були однаковими.

В процесі оптимізації основних проектних параметрів і параметрів траєкторії одноступеневого і двоступеневого КРО розглядалася наступна схема польоту. Програма зміни в часі кута тангажа на активній ділянці траєкторії (політ з працюючими маршовими РДТП) задавалася лінійною залежністю, коефіцієнти якої визначалися з умов забезпечення необхідних кутів тангажа на початку і в кінці активної ділянки траєкторії (АДТ). Після завершення АДТ, на пасивній ділянці траєкторії (ПДТ) здійснювався вихід на нульовий кут атаки  $a = 0$ . Далі програма зміни кута тангажа та її коефіцієнти підбиралися таким чином, щоб забезпечити на максимальній висоті польоту необхідну величину швидкісного напору  $Q_{H_{max}}$ , що забезпечує керованість КРО. Після досягнення максимальної висоти польоту здійснювався вихід на кут атаки  $a = a_{const}$  і подальший політ на цій ПДТ відбувався з кутом атаки  $a = a_{const}$  до заданої висоти  $H_{aconst}$ . Після досягнення висоти  $H_{aconst}$  здійснювався розворот КРО на необхідний кут тангажа  $\varphi_c$  при підльоті до цілі і подальший політ відбувався з цим кутом тангажа до зіткнення з поверхнею Землі.

Для одноступеневого КРО було обрано такі проектні параметри і параметри траєкторії, що оптимізують:

- коефіцієнт початкової тягооснащеності  $v_p$ ;
- середнє значення тиску в камері згоряння маршового РДТП  $p_k$ ;
- кут тангажа в кінці роботи маршового РДТП  $\varphi_{AUT}$ .

Для двоступеневого КРО було обрано такі проектні параметри і параметри траєкторії, що оптимізують:

- коефіцієнт початкової тягооснащеності першого ступеня  $v_{p1}$ ;
- коефіцієнт початкової тягооснащеності другого ступеня  $v_{p2}$ ;
- відносна кінцева маса  $\mu_{k1}$  першого ступеня;
- середнє значення тиску в камері згоряння маршового РДТП першого ступеня  $p_{k1}$ ;
- середнє значення тиску в камері згоряння маршового РДТП другого ступеня  $p_{k2}$ ;
- кут тангажа в кінці роботи маршового РДТП першого ступеня  $\varphi_{AUT1}$ ;
- кут тангажа в кінці роботи маршового РДТП другого ступеня  $\varphi_{AUT2}$ .

Аналіз результатів оптимізації проектних параметрів і параметрів траєкторії одноступеневого КРО з маршовим РДТП показав, що максимальною дальністю польоту є за максимально можливою значення коефіцієнта початкової тягооснащеності. При цьому максимальне значення коефіцієнта початкової тягооснащеності залежить від характеристик твердого ракетного палива (ТРП), зокрема від швидкості горіння, яка, з одного боку, визначається хімічним складом ТРП, а з іншого боку, – тиском продуктів згоряння в камері згоряння двигуна. Отже, тривалість роботи маршового РДТП, з одного боку, залежить від коефіцієнта початкової тягооснащеності, а з іншого боку, – від максимальної товщини згорілого зводу заряду ТРП, яка визначається швидкістю горіння ТРП і мінімально допустимим значенням радіуса каналу заряду, за якого забезпечується стабільна робота маршового РДТП. Слід також зазначити, що за максимально можливою значення коефіцієнта початкової тягооснащеності  $v_p$  забезпечуються: максимальне значення питомого імпульсу РДТП  $I_{yd}$  та максимальне значення коефіцієнта заповнення двигуна паливом  $\gamma$  і, відповідно, мінімальні габаритні розміри КРО в цілому  $L_{URO}$ .

Оптимізовано основні проектні параметри і параметри траєкторії двоступеневого КРО. Як показали результати розрахунків, застосування двоступеневого КРО в порівнянні з одноступеневим КРО за однакових стартових мас і мас головних частин дозволило збільшити дальність польоту КРО приблизно на 65 км.

Виконано оптимізацію проектних параметрів і програм керування для ракетних об'єктів з однорежимним і дворежимним РДТП під час польоту за балістичною і аеробалістичною траєкторіями.

Для КРО з одnoreжимним РДТП було обрано такі проектні параметри і параметри траєкторії, що оптимізують:

- коефіцієнт початкової тягооснащеності  $v_p$ ;
- середнє значення тиску в камері згоряння  $p_k$ ;
- коефіцієнт прогресивності тяги  $K_{pr}$ ;
- кут тангажа в кінці активного відрізка траєкторії  $\varphi_{AUT}$ .

Для КРО з дворежимним РДТП було обрано такі проектні параметри і параметри траєкторії, що оптимізують:

- коефіцієнт початкової тягоозброєності  $v_p$ ;
- середнє значення тиску в камері згоряння  $p_k$ ;
- відносна кінцева маса  $\mu_k$ ;
- коефіцієнт, що визначає запас ТРП який витрачається на 1-му режимі роботи РДТП  $\eta_{m1}$ ;
- коефіцієнт дроселювання тяги РДТП  $\eta_{dros}$ ;
- кут тангажа в кінці активного відрізка траєкторії  $\varphi_{AUT}$ ;
- тривалість виходу на кут тангажа  $\varphi_c$  під час підльоту до цілі обирають максимально можливою.

Для однорежимного РДТП виконано розрахунки з обмеженням на мінімальне значення швидкості горіння ТРП  $u = 6,5$  мм/с. Для дворежимного РДТП виконано два розрахунки: з обмеженням на мінімальне значення швидкості горіння ТРП  $u = 6,5$  мм/с і без обмеження на мінімальну швидкість горіння ТРП.

Отримано графічні залежності дальності польоту і тиску в камері згоряння від коефіцієнта початкової тягооснащеності. Також отримано графічні залежності дальності польоту, кута тангажа в кінці активного відрізка траєкторії, тиску в камері згоряння, коефіцієнта початкової тягооснащеності від коефіцієнта прогресивності для однорежимного РДТП та коефіцієнта дроселювання тяги для дворежимного РДТП.

За допомогою розробленого у 2017–2019 роках методичного та програмного забезпечення було проведено дослідження, що пов'язані з вирішенням завдань початкового етапу проектування КРО. Виконано оптимізацію основних параметрів і порівняно габаритно-масові, енергетичні й аеробалістичні характеристики двох варіантів керованих ракетних об'єктів, виконаних за одноступеневою і двоступеневою схемами. Оптимізовано проектні параметри і програми керування для ракетних об'єктів з однорежимним і дворежимним РДТП під час польоту за балістичною і аеробалістичною траєкторіями.

## Напрямок №2 «Балістика, аеродинаміка і теплообмін»

Керівники робочої групи:

**Пилипенко О.В.** — директор Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор;

**Сіренко В.М.** — заступник головного конструктора з системного проектування ракет і ракетних комплексів - начальник розрахунково-теоретичного комплексу з проектування і розрахунків в частині балістики, аеродинаміки, тепломасообміну, міцності ДП «КБ «Південне», кандидат технічних наук

Робота групи «Балістика, аеродинаміка і теплообмін» у 2020 році була досить продуктивною. Проведено ряд спільних досліджень та робіт за найбільш актуальними напрямками.

### **Визначення можливостей поліпшення траєкторних параметрів зенітних керованих ракет.**

Спільно з фахівцями Інституту проблем реєстрації інформації проведено роботи з визначення можливостей поліпшення траєкторних параметрів зенітних керованих ракет. Зокрема, визначено основні положення досліджень з розроблення швидкодійного методу, методики та алгоритмів оптимізації траєкторій зенітної керованої ракети (ЗКР):

- огляд та аналіз сучасних методів формування оптимальної траєкторії ЗКР;
- розробка швидкодійного методу, методики та алгоритмів оптимізації траєкторії ЗКР;
- визначення аналітичного вигляду оптимального (квазіоптимального) закону керування ЗКР.

За результатами аналізу отримані оптимальні кути атаки, визначених чисельними методами випадкового пошуку (МВП) та координатного спуску (МКС) для гіпотетичної ЗКР і часткових випадків умов стрільби, приведені на рисунках 1 та 2 відповідно.

### **Розрахунок газодинамічних параметрів струменя продуктів згоряння палива двигуна ракети**

За результатами спільних з Інститутом технічної механіки НАНУ у 2020 році робіт з розроблення та доопрацювання програмного забезпечення для розрахунку газодинамічних параметрів струменя двигуна ракети з урахуванням наявності конденсованих частинок у продуктах згоряння палива, а також розроблення методів розрахунку газодинамічних параметрів струменя для багатосоплового компоновання двигуна ракети-носія:

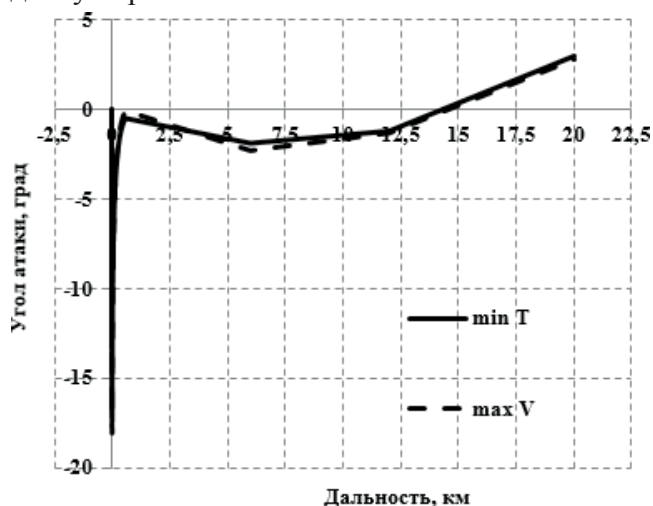


Рисунок 1. Програми кута атаки для траєкторій, отриманих МВП

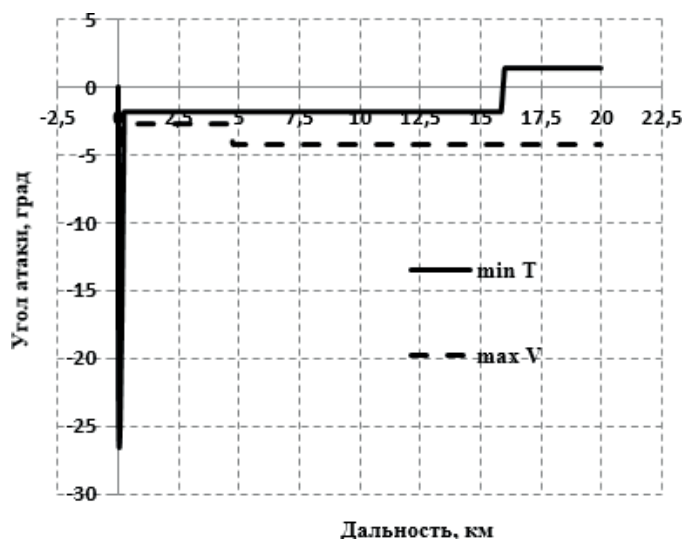


Рисунок 2. Програми кута атаки для траєкторій, отриманих МКС

- підготовлено технічне завдання на проведення робіт;
- надано вихідні дані щодо параметрів двигуна для здійснення тестових розрахунків;
- виконано роботи з розроблення програмно-методичного забезпечення для розрахунку газодинамічних і теплофізичних параметрів струменя ПГ палива ракетного двигуна на твердому паливі з урахуванням наявності у струмені конденсованих частинок;
- виконано роботи з аналізу вихідних даних та необхідної додаткової інформації для здійснення розрахунків.

#### ***Розроблення методів та програмного забезпечення розрахунку аеродинамічних характеристик літальних апаратів з урахуванням обертання***

Спільно з Інститутом технічної механіки розглянуто можливості розроблення методичних положень щодо розрахунку аеродинамічних характеристик літальних апаратів з урахуванням їх обертання навколо повздовжньої осі. Основні положення досліджень:

- розроблення методичних положень для розрахунку аеродинамічних характеристик;
- розроблення програмного забезпечення для розрахунку аеродинамічних характеристик ЛА з урахуванням обертання;
- розрахування аеродинамічних характеристик для наданої конфігурації ЛА (некерований реактивний снаряд з хвостовими стабілізаторами).

#### ***Розроблення методики моделювання теплових процесів в баку окисника ракети під час відбирання з нього рідкого кисню***

КБ «Південне» разом з Інститутом проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного у 2020 році виконали розрахункові дослідження за напрямом – розроблення методики моделювання теплових процесів та розрахунку поля температур у баку окисника ракети-носія під час наземної підготовки РН до пуску та під час польоту.

Методику розробляють на основі числових методів розрахунку гідродинаміки рідини в циліндричній посудині з урахуванням фазових переходів (кипіння) під впливом зовнішніх теплових навантажень.

На сьогоднішній день підготовлено технічне завдання на проведення робіт, надано вихідні дані для виконання тестових розрахунків теплових режимів в паливному відсіку ракети-носія.

Інститут проблем машинобудування виконав декомпозицію задачі розрахунку температурної стратифікації рідкого кисню в паливному відсіку на два напрями: етап заправлення та етап випорожнення бака під час відбирання з нього палива на етапі польоту ракети-носія. Також проведено роботи з розроблення методичних підходів для розрахунку теплової стратифікації окисника в паливний бак.



### Напрямок №3 «Навантаження і міцність конструкцій»

Керівники робочої групи:

**Харченко В.В.** — директор Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, академік НАН України, доктор технічних наук, академік НАН України;

**Сіренко В.М.** — заступник головного конструктора з системного проектування ракет і ракетних комплексів - начальник розрахунково-теоретичного комплексу з проектування і розрахунків в частині балістики, аеродинаміки, тепломасообміну, міцності ДП «КБ «Південне», кандидат технічних наук

#### Математичне моделювання задач термоміцності ракетних конструкцій

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України (ІППММ) у співпраці з ДП «КБ «Південне» сформулював одновимірні по кожній із просторових (осьовій, кутовій та радіальній) координат початково-крайові задачі нестационарної теплопровідності неоднорідних елементів ракетних конструкцій. Розроблено методику розв'язання зазначених задач шляхом використання системи ANSYS.

Запропоновано підхід до розв'язання за допомогою системи ANSYS 2D- та 3D-зв'язаних задач термопружності та розрахунку міцності ракетних конструкцій з урахуванням процесу поверхневого масообміну об'єкта із середовищем. Розроблену методику верифіковано на тестовій задачі про поміщений у середовище з постійною температурою порожнистий циліндр, для якої відомий аналітичний розв'язок. Результати розрахунків наведено на рис. 1 і 2 (умови конвективного теплообміну задано на внутрішній і зовнішній поверхнях). За допомогою цієї ж методики розраховано температурне поле в критичному перерізі сопла з армованого вуглець-вуглецевого композитного матеріалу типового ракетного сопла ракетного двигуна твердого палива (РДТП) (рис. 2).

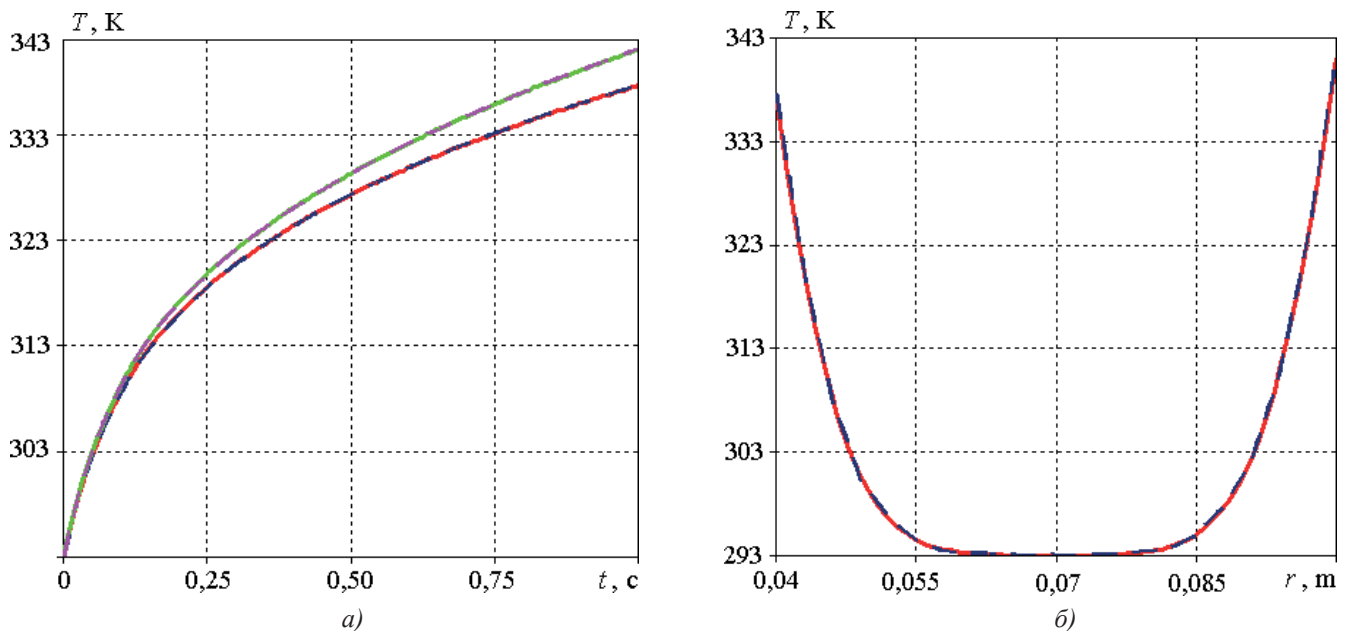


Рисунок 1 – Зміни в часі температури на внутрішній та зовнішній поверхнях циліндра (а), а також розподіл температури в центральній частині циліндра для 1 с (б)

Також розвинуто та апробовано ефективний метод побудови розв'язків задач термомеханіки для радіально-неоднорідних циліндричних тіл за довільної залежності теплофізичних і термопружних властивостей матеріалу від радіальної координати, впливу теплових навантажень та локальних розподілів залишкових деформацій. При цьому враховано можливість змінення факторів навантажень уздовж твірної циліндра. Такі задачі у світовій та вітчизняній літературі розглядали лише для спрощеного плоского випадку з огляду на складність їх загального поставлення та проблематичності

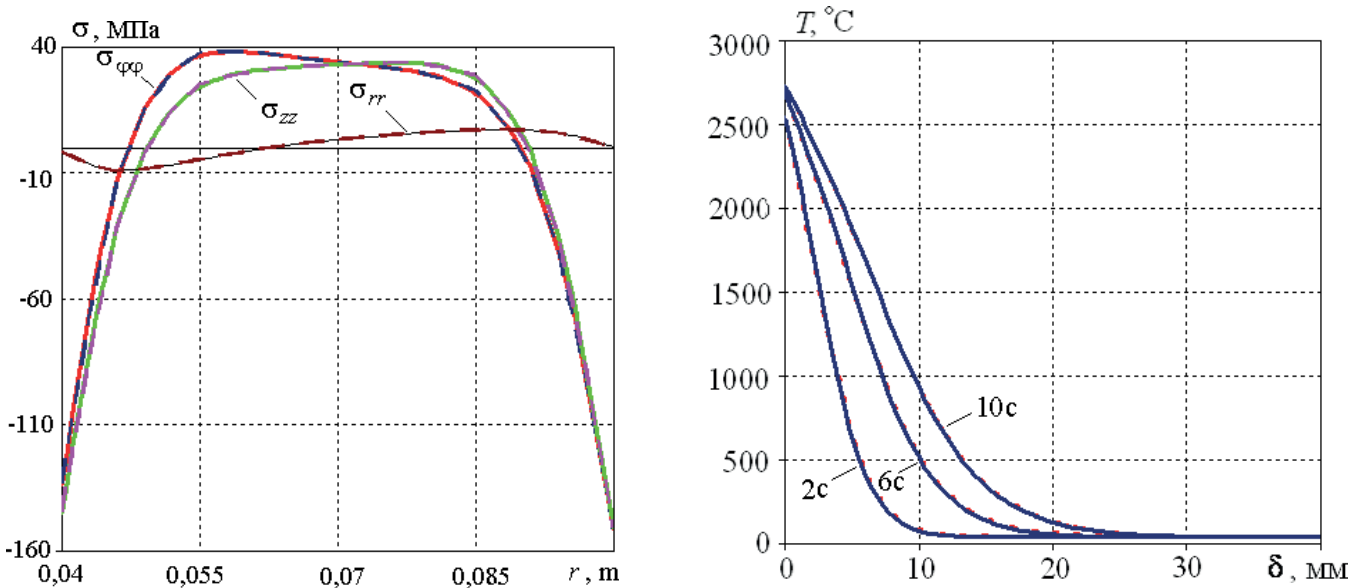


Рисунок 2 – Розподіл напружень в центральній частині циліндра в момент часу 1 с, а також розподіли температури в критичному перерізі сопла для моментів часу  $t = 2, 6$  і  $10$  с

побудови аналітичних розв'язків для випадку довільної радіальної неоднорідності. На основі отриманих розв'язків розроблено розрахункові алгоритми та здійснено дослідження зазначених полів у циліндричних тілах за типових залежностей властивостей матеріалу від координати та способів навантаження.

Побудовано аналітичний розв'язок вісесиметричної задачі для циліндра з довільними змінними теплофізичними характеристиками. Отриманий розв'язок дозволяє аналізувати температуру і термонапруження та верифікувати розв'язки, отримані з використанням наближених та числових методів.

### *Дослідження міцності стиків ракетних конструкцій із шаруватих композиційних матеріалів під час статичних і циклічних впливів та нагрівання числовими та експериментальними методами*

Погоджено проект технічних умов на випробування в Інституті проблем міцності імені Г.С. Писаренка фрагментів стиків та модельних оболонок з вуглепластикових композиційних матеріалів. Вирішено основні методичні питання статичного і циклічного навантаження на розтяг і стиск фрагментів стиків ракетних конструкцій із композиційних матеріалів за нормальної та підвищеної температур. Розглянуто схеми навантаження модельних оболонок типу циліндр (рис. 3, а) і кон (рис. 3, б) на розтяг, стиск і внутрішній тиск. Визначено необхідність створення спеціального випробувального обладнання для реалізації кожного виду навантаження для конкретного типу модельної оболонки для випробувань за високих і низьких температур.

Визначено перелік експериментального обладнання, необхідного для відтворення заданих умов механічного навантаження і температури та реєстрації заданих фізичних параметрів об'єктів випробувань.

Погоджено проект календарного плану виконання робіт з випробування фрагментів стиків та модельних оболонок з вуглепластикових композиційних матеріалів у 2021–2022 рр.

### *Дослідження міцності заряду, міцно скріпленого з корпусом ракетного двигуна на твердому паливі*

Інститут прикладних проблем механіки і математики за технічним завданням та вихідними даними КБ «Південне» розробив методологію розрахунку напружено-деформованого стану заряду, міцно скріпленого з корпусом РДТП, для різних розрахункових випадків з використанням методу скінченних елементів системи ANSYS. Розглянуто математичні моделі, що визначають термомеханічну поведінку матеріалів елементів конструкції РДТП: його корпусу, високоеластичного внутрішнього теплозахисного покриття, а також заряду твердого палива (ЗТП).



а



б

Рис. 3. – Модельні оболонки типу циліндр (а) і кокон (б)

Методологія визначає способи застосування цих моделей матеріалів, а також побудови моделі для розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) РДТП.

Запропоновано методику оцінювання міцності ЗТП з використанням деформаційних критеріїв. Методика враховує те, що критичний стан у матеріалі ЗТП виникає за деформації, що менша за її значення, за якого настає глобальне руйнування ЗТП. Тому запропоновано оцінювати локальну міцність ЗТП у зонах концентрації напружень та великих деформацій, які визначають, виходячи з розрахованого НДС ЗТП. Міцність ЗТП за цією методикою визначається міцністю матеріалу в усіх зонах контролю.

У методології враховано весь спектр навантажень (об'ємні, поверхневі, теплові), що діють на РДТП на різних етапах його життєвого циклу.

Верифіковано розроблену методологію на ряді тестових задач, що підтвердило її ефективність. Проведені чисельні дослідження дозволили виявити деякі закономірності, які визначають вплив корпусу та геометрії каналу на концентрацію напружень і локальну міцність ЗТП. Зокрема, на рис. 4 наведено розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у ЗТП за 1 годину після початку його деформування під впливом власної ваги з урахуванням його в'язкопружних властивостей. Характерною особливістю розглянутого випадку є певна концентрація напружень у кутових точках. У середній частині циліндра, поза невеликими околами країв, спостерігається практично незалежний від осьової координати розподіл напружень.

Запропоновану методологію планують використовувати під час виконання проектних розрахунків ЗТП для РДТП, що розробляють на ДП «КБ «Південне».

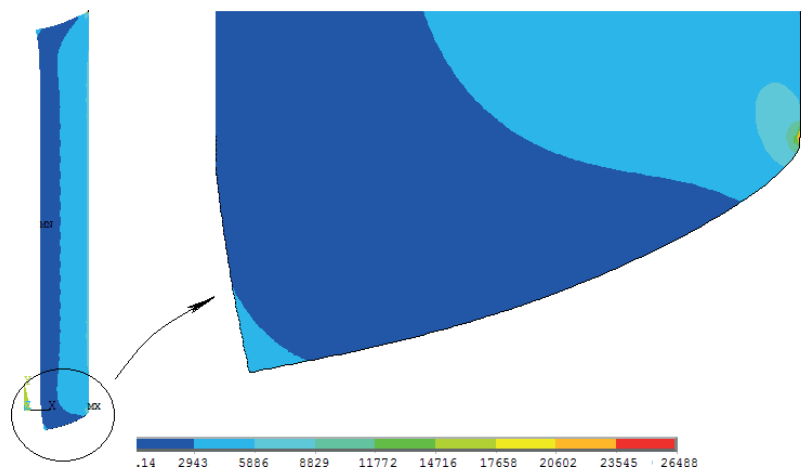


Рис. 4. – Еквівалентні напруження за Мізесом за 1 годину після початку його деформування під впливом власної ваги

### Розрахункове прогнозування руйнівного навантаження із застосуванням вимірювань напружено-деформованого стану під час неруйнівних випробувань

Інститут проблем міцності дослідив вплив анізотропії механічних властивостей металу на розрахункову оцінку несучої спроможності бака окиснювача ракети-носія (РН). Одержано результати розрахункової оцінки рівня критичного тиску в баку окиснювача РН з використанням узагальнених діаграм пружно-пластичного деформування алюмінієвого сплаву АМг6, які враховують анізотропію фізико-механічних властивостей матеріалу.

Рівень критичного тиску оцінювали з використанням діаграм розтягу в осьовому та тангенціальному напрямках, а також у разі сумісного розтягу із співвідношенням головних напружень 0,5 (таке співвідношення реалізується в циліндричній частині бака за навантаження внутрішнім тиском). Кожна із перерахованих діаграм деформування характеризується параметром  $K = \sigma_z / \sigma_\theta$ , де  $\sigma_z$  – осьове,  $\sigma_\theta$  – тангенціальне напруження (для осьового розтягу  $K = \infty$ , для розтягу в тангенціальному напрямку  $K = 0$ , у разі сумісного розтягу із співвідношенням головних напружень 0,5  $K = 0,5$ ). На рис. 5 наведено узагальнені діаграми деформування алюмінієвого сплаву АМг6 для різних співвідношень напружень.

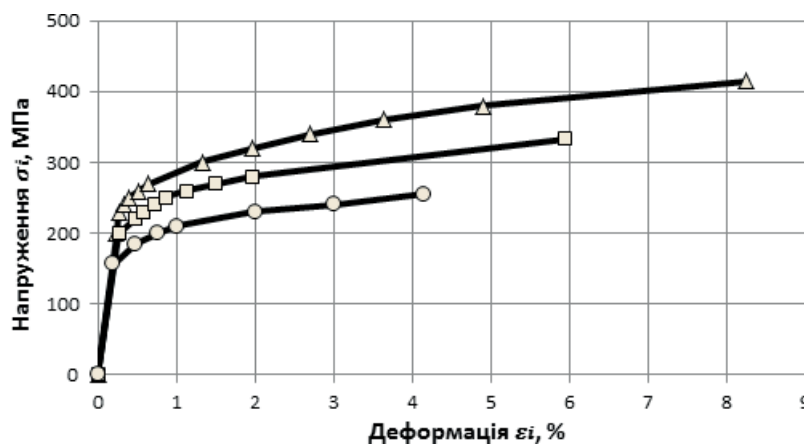


Рис. 5. – Узагальнені діаграми деформування алюмінієвого сплаву АМг6 для різних співвідношень головних напружень:  $\Delta$  -  $K = \infty$ ;  $\square$  -  $K = 0$ ;  $\circ$  -  $K = 0,5$

Розрахунок НДС виконано з використанням спрощеної розрахункової схеми для характерного конструктивного елемента бака у вісесиметричній постановці з урахуванням пружно-пластичних деформацій. В основу розрахункового аналізу покладено змішану схему методу скінченних елементів, яка забезпечує безперервну апроксимацію переміщень і напружень, що дозволяє визначити НДС елемента бака з високим ступенем точності.

Показано, що максимальні значення напружень і деформацій спостерігаються в області галтелі з'єднання шпангоута з циліндричною обичайкою бака.

На рис. 6 і 7 наведено розрахункові розподіли тангенціальних і осьових напружень в області з'єднання шпангоута з циліндричною обичайкою бака. Ці розподіли відповідають рівню критичного тиску і одержані з використанням узагальнених діаграм деформування сплаву АМг6 для різних співвідношень напружень ( $K = \infty$ ; 0; 0,5).

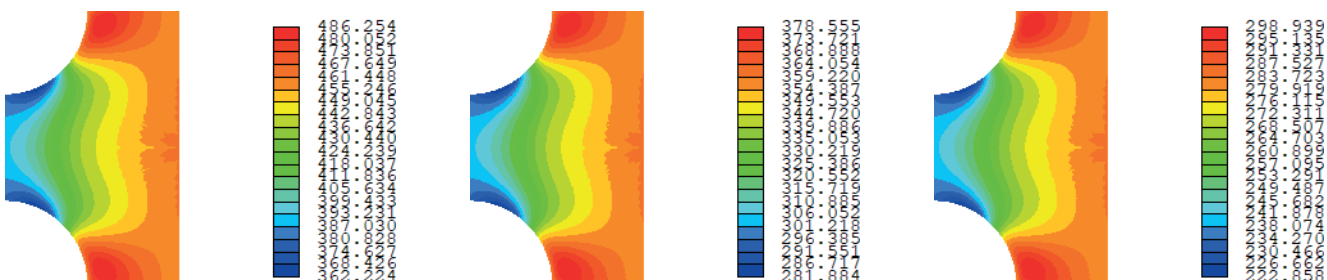


Рисунок 6 – Тангенціальні напруження  $\sigma_\theta$  (МПа) в області з'єднання шпангоута з циліндричною обичайкою бака: а -  $K = \infty$ ; б -  $K = 0$ ; в -  $K = 0,5$



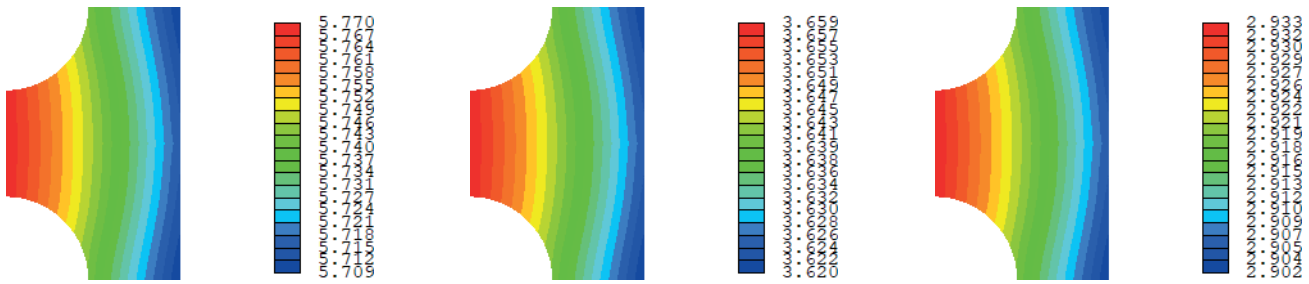


Рис. 7. – Тангенціальні деформації  $\varepsilon_0$  (%) в області з'єднання шпангоута з циліндричною обичайкою бака: а -  $K = \infty$ ; б -  $K = 0$ ; в -  $K = 0,5$

Для оцінювання критичного тиску в баку в цій роботі використовували критерій граничного стану, згідно з яким граничне значення еквівалентної деформації для визначеного співвідношення головних напружень відповідає втраті стійкості локального пластичного деформування матеріалу, що призводить до нестійкого характеру залежності максимальної деформації від тиску в баку. На рис. 8 наведено залежність максимальних еквівалентних деформації від рівня внутрішнього тиску, що одержано за результатами розрахунку НДС бака.

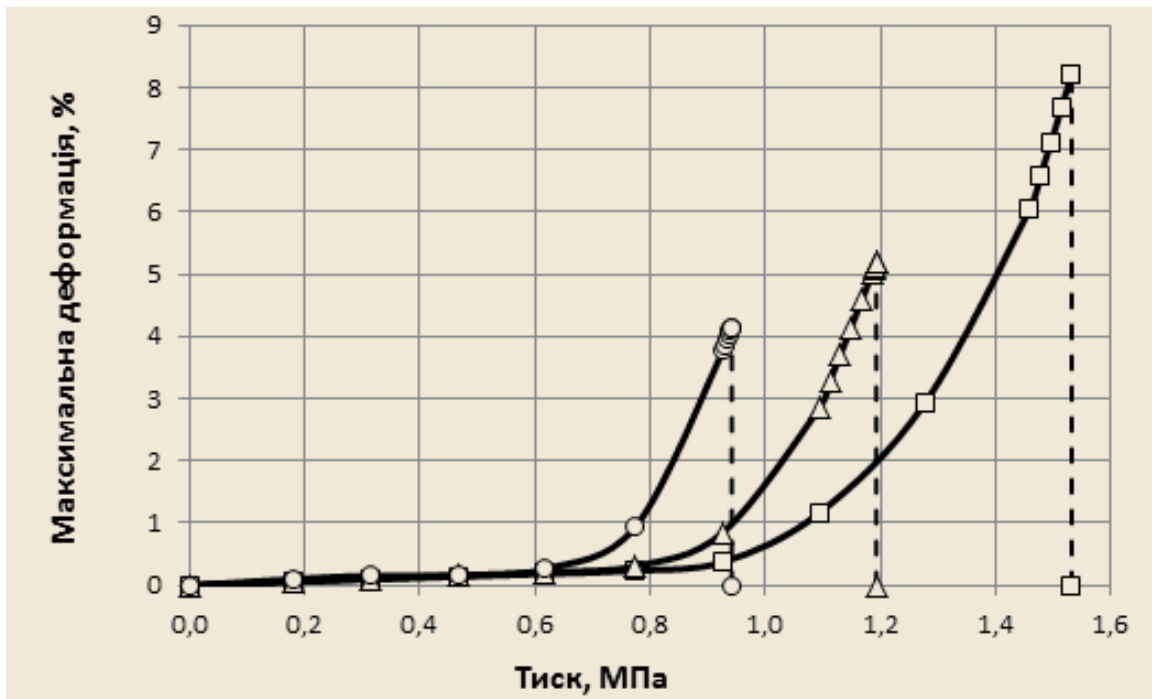


Рис. 8. – Залежність максимальних еквівалентних деформацій  $\varepsilon_{\max}$  в області галтели бака від рівня внутрішнього тиску:  $\Delta$  –  $K = \infty$ ;  $\square$  –  $K = 0$ ;  $\circ$  –  $K = 0,5$

За результатами розрахунків НДС та оцінювання граничного стану елемента бака одержано такі значення рівнів критичного тиску:  $p_1 = 1,53$  МПа – на основі даних діаграми розтягу за  $K = \infty$ ;  $p_2 = 1,12$  МПа – на основі даних діаграми розтягу за  $K = 0$ ;  $p_3 = 0,94$  МПа – на основі даних діаграми двовісного розтягу при  $K = 0,5$ .

Розрахунок НДС елемента бака з використанням діаграми деформування сплаву в тангенціальному напрямку (врахування анізотропії сплаву) приводить до зменшення рівня критичного тиску на 27 % порівняно зі значенням тиску, одержаним на основі діаграми розтягу в осьовому напрямку. Використання в розрахунку даних, одержаних з узагальненої діаграми деформування сплаву в разі двовісного розтягу зі співвідношенням головних напружень  $K = 0,5$  (врахування виду напруженого стану), зменшує критичний тиск у баку на 38 % порівняно з розрахунком на основі діаграми одновісного розтягу в осьовому напрямку.

Отже, уточнений розрахунок НДС для оцінки несучої здатності елемента бака окиснювача РН з урахуванням анізотропії механічних властивостей і виду напруженого стану алюмінієвого сплаву АМгб дає більш консервативну оцінку рівня критичного тиску порівняно з традиційним розрахунком на основі діаграми одновісного розтягу матеріалу.

**Методологія визначення фактичних руйнівних навантажень тонкостінних конструкцій за результатами комп'ютерного моделювання з урахуванням результатів неруйнівних експериментальних випробувань**

Інститут прикладних проблем механіки і математики ІППММ за вихідними даними КБ «Південне» розробив методологію дослідження міцності великогабаритних тонкостінних конструкцій і визначення руйнівного навантаження на них шляхом комп'ютерного моделювання і неруйнівних експериментальних випробувань (на прикладі бака окиснювача першого ступеня ракети-носія, рис. 9).

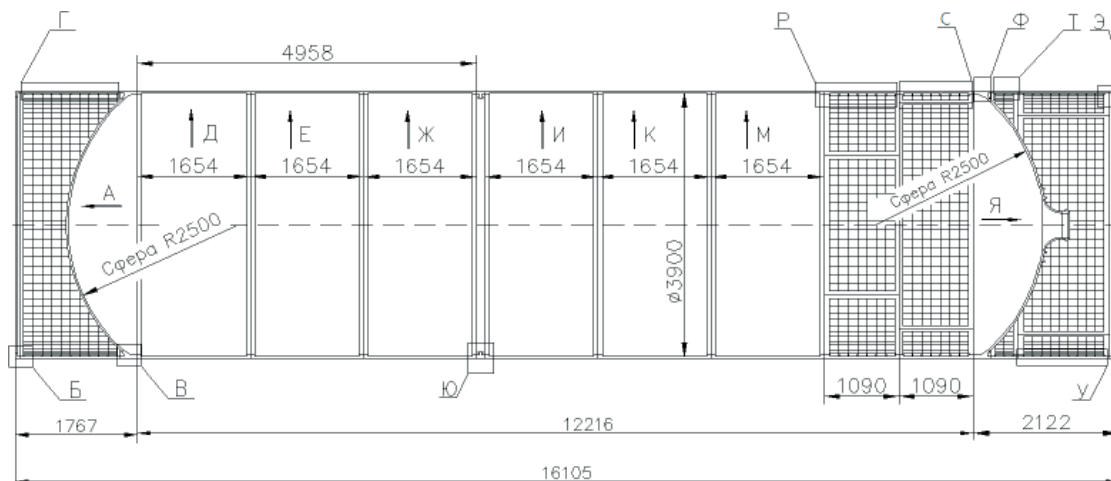


Рис. 9 – Загальний вигляд бака раети носія

За припущення, що переміщення та деформації можуть бути великими, а напруження істотно перевищують межу пластичності матеріалів, задачу сформульовано в межах геометрично нелінійної теорії термопружнопластичності. Для розв'язання сформульованої задачі застосовано метод скінченних елементів. На цій основі розроблено відповідне прикладне програмне забезпечення в програмному середовищі Delphi. Розроблено програмні засоби щодо можливостей вводу, корекції, збереження та імпорту інформації між модулями програмного комплексу. Створено зручний інтерфейс користувача та засоби візуального та програмного контролю введених даних, розроблення (дизайну) структур даних як для внутрішнього подання, так і для передачі коректної та повної інформації для подальшого опрацювання і використання в програмі ANSYS.

У рамках розробленої методології досліджено напружено-деформований стан бака окиснювача першого ступеня за дії внутрішнього тиску. Дослідження виконано в межах різних модельних припущень: бак розглянуто як вісесиметричну конструкцію (рис. 10), як складену з обичайок вафельного типу оболонку, фрагмент якої наведено на рис. 11, а також як тривимірне пружнопластичне тіло, фрагмент якого наведено на рис. 11.

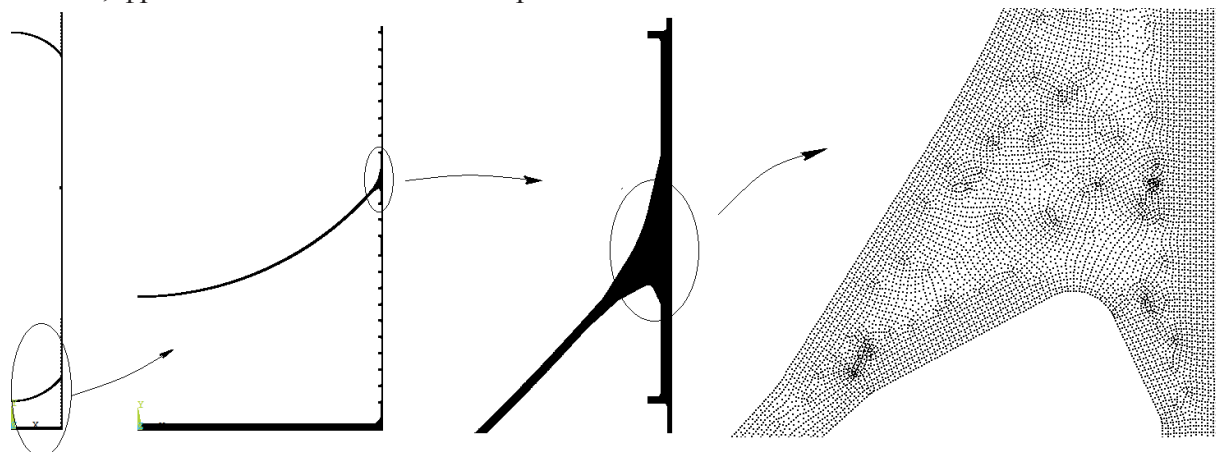


Рис. 10 – Осесиметрична скінченно-елементна модель бака з деталізацією околу нижнього шпангоута (8-вузлові елементи)

Отримано кількісні оцінки міцності бака, визначено його руйнівне навантаження і найбільш навантажені локальні зони, з яких починається руйнування. Зокрема, на рис. 12 зображено еквівалентні напруження в циліндричній частині бака за внутрішнього тиску  $p = 8,93 \text{ кгс/см}^2$ .

Порівняльний аналіз результатів комп'ютерного моделювання і відповідних натурних експериментів показав, що результати оцінювання міцності бака за критерієм максимальних напружень найкраще узгоджуються з експериментальними даними.

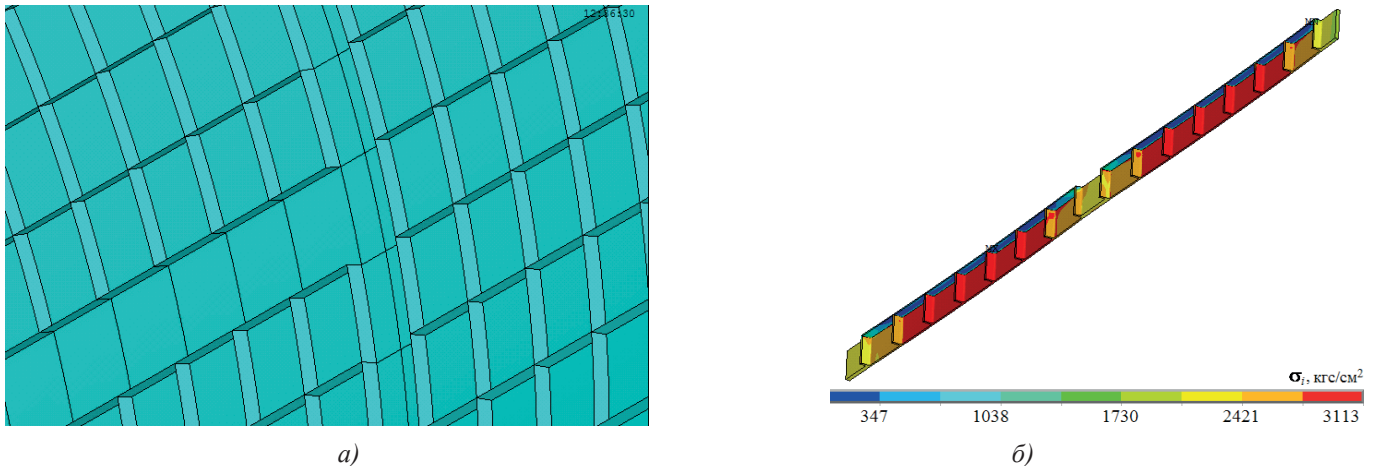


Рис. 11 – Фрагмент внутрішньої поверхні складеної з обичайок вафельного типу оболонки (а), а також тривимірний фрагмент бака з двох обичайок вафельного типу (б)

Після обчислювальних експериментів і визначення руйнівного навантаження та найбільш напружених місць конструкції шляхом комп'ютерного моделювання можна виконати натурний експеримент на фізичному прототипі для навантажень, які істотно менші за руйнівні. Під час виконання цих експериментів тензорезистори необхідно ставити в найбільш напружених місцях конструкції, визначених засобами комп'ютерного моделювання, після чого порівняти експериментальні значення деформацій і напружень у цих місцях з аналогічними значеннями з обчислювального експерименту. У разі збігу результатів обчислювального і натурального експериментів для навантажень, менших за руйнівні, немає потреби доводити навантаження до руйнівного у фізичному прототипі конструкції. Розроблена методологія дає можливість скоротити кількість випробувань, під час яких конструкцію доводять до руйнування.

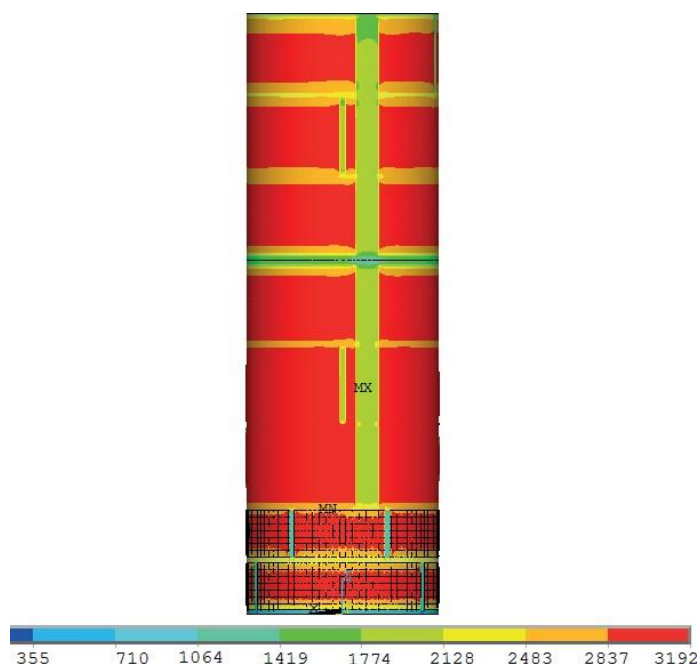
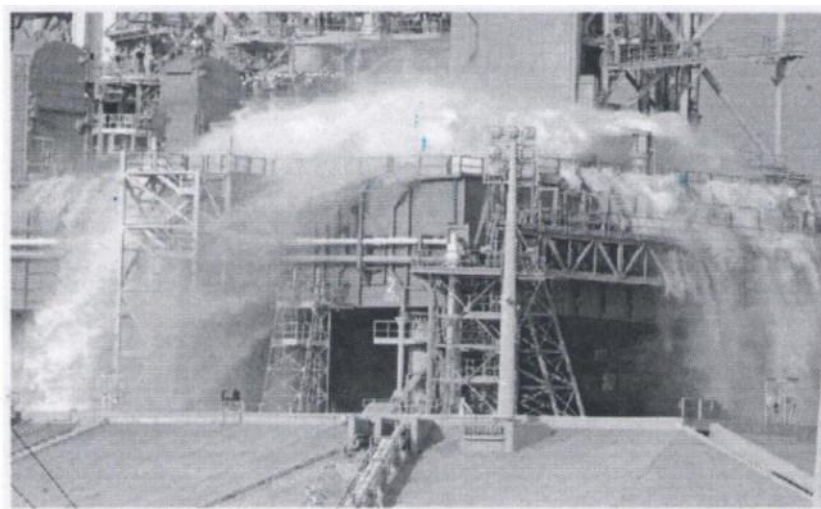


Рис. 12 – Еквівалентні напруження в циліндричній частині бака за внутрішнього тиску  $p = 8,93 \text{ кгс/см}^2$

### ***Розроблення методів зниження акустичних навантажень шляхом впорскування води. Вивада рекомендацій щодо конструювання системи впорскування води***

Під час розроблення стартових комплексів перед ДП «КБ «Південне» стоїть завдання мінімізації акустичних навантажень, що діють на ракету-носій (РН) і корисний вантаж. Максимальні акустичні навантаження виникають, як правило, під час старту РН. Одним із способів зниження акустичних навантажень є використання системи впорскування води в надзвуковий струмінь рушійної установки під час старту РН.

КБ «Південне» спільно з Інститутом гідромеханіки розглянули результати гасіння шуму, досягнуті з використанням води, на стартових площадках різних країн. Наприклад, використання води під час запусків Space Shuttle дозволило зменшити шум на 8–12 дБ. Для зменшення шуму на стартовому комплексі Космічного центру імені Кеннеді (США) створено спеціальну водонапірну систему, здатну подавати воду з витратою 1135500 л/хв. Автори образно характеризують ситуацію як занурення стартового стола у стрімку річку. На рис. 13 показано вид стартового стола, залитого водою.



*Рис. 13. Вид стартового стола з «неймовірною» системою гасіння звуку (NASA's Incredible Sound Suppression System)*

На базі уявлень про особливості взаємодії звукових полів з дисперсними середовищами розроблено акустичну модель взаємодії реактивного струменя з сумішшю «вода-повітря», у якій враховано три основні механізми формування згасання звуку під час проходження шару дисперсного середовища:

- термічна релаксація на межах розділу фаз;
- динамічна релаксація в'язкого типу;
- багатократне розсіювання на дисперсних неоднорідностях.

Визначено базові параметри моделі для проведення кількісних оцінок для дисперсної суміші «вода-повітря»:

- форма – крапельно-аерозольна чи бульбашкова (спінена);
- характерний розмір диспергованих включень;
- об'ємна частка води в суміші;
- температура суміші «вода-повітря».

Проаналізовано можливі методи використання води для зниження рівня шуму під час старту ракет-носіїв розроблення ДП «КБ «Південне» (на прикладі РН «Циклон-4М»).

У разі продовження робіт в Інституті гідромеханіки буде проведено експеримент з відпрацювання геометрії форсунок для розбризкування води під час великих витрат.

Також за результатами роботи буде розроблено практичні рекомендації щодо конструювання системи впорскування води.



## Розроблення методів та прикладних технологій чисельного аналізу для комп'ютерного моделювання руйнівних випробувань систем ракетних озброєнь підчас статичного впливу та нагрівання

Під час розроблення систем ракетних озброєнь виникає потреба до етапу експериментального відпрацювання проаналізувати несучу здатність та руйнування конструкцій в умовах заданих експлуатаційних впливів, що потребує розроблення новітніх комп'ютерних технологій проведення віртуальних випробувань. Цей підхід дозволяє завчасно визначити проблемні питання міцності і працездатності конструкцій, що скорочує строки і витрати коштів на розроблення складних систем озброєнь.

У 2020 році ДП «КБ «Південне» разом з Інститутом проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного (м. Харків) сформували вихідні дані для типових систем ракетних конструкцій та експлуатаційних навантажень (рис. 14).



Рис. 14 Типова конструкція реактивного снаряду

попередні методи та технології чисельного моделювання для визначення руйнівних навантажень ракетних оболонкових конструкцій під час статичних і динамічних експлуатаційних впливів. На базі створених комп'ютерних технологій було проведено комплексні дослідження руйнування під вибуховим тиском тонкостінних оболонок для головних частин ОТР з різними схемами надрізів товщини, що забезпечують їх розпад на заплановані за розміром фрагменти.

Результати досліджень динамічного напружено-деформованого стану та процесу розвитку тріщини в модельних оболонках було використано під час аналізу експлуатаційних випробувань і вибору штатних ракетних конструкцій для забезпечення потрібних параметрів кидання бойових елементів (рис. 15).

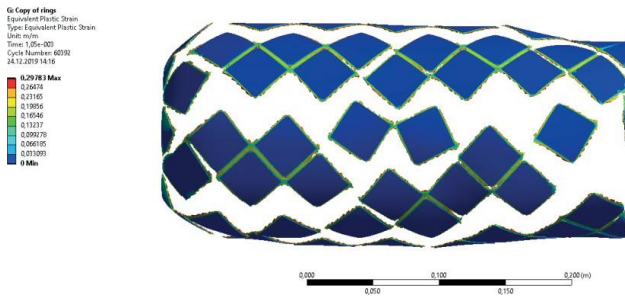


Рис. 15 Руйнування під вибуховим тиском

На другому етапі з використанням розроблених методів і технологій чисельного моделювання заплановано проведення віртуальних руйнівних випробувань блока стабілізації для реактивних снарядів з урахуванням їх обертання та дії експлуатаційних впливів (рис. 16).

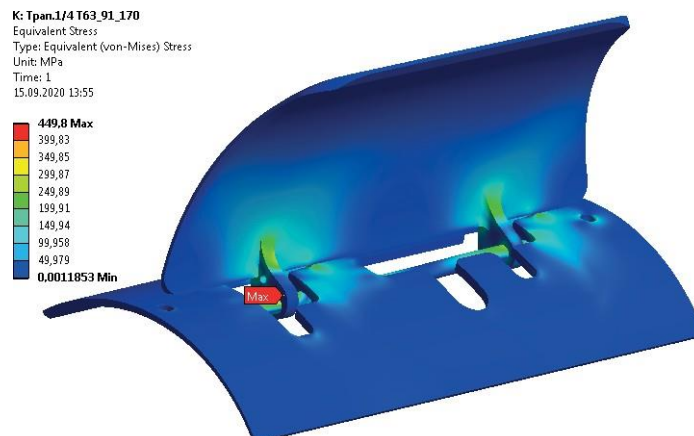


Рис. 15 Руйнування під вибуховим тиском

**Удосконалення програмного забезпечення та розрахункових моделей для порівняння з експериментальними даними для прогнозування несучої здатності паливних баків ракет**

У 2020 році спільно з Інститутом проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного проведено розрахункові дослідження напружено-деформованого стану (НДС) бака першого ступеня у тривимірній постановці з врахуванням пластичних деформацій. За результатами розрахунків проаналізовано отримані розрахункові деформації та порівняно з експериментальними даними. Розрахункові дослідження виконано за допомогою програмного комплексу CUB, що розробив Інститут проблем машинобудування на основі методу скінченних елементів (МСЕ), який дає можливість досліджувати термонапружений стан конструкції у тривимірній постановці.

Конструкція бака першого ступеня є складною та містить у собі верхнє та нижнє сферичні днища, розпірні шпангоути, проміжний шпангоут, шість умовно гладких та дві вафельні обичайки. Конструкція бака в осьовому та кільцевому напрямках – несиметрична оболонка. Кожна гладка обичайка має два осьових зварних шви. Загальний вигляд бака першого ступеня подано на рис. 17.

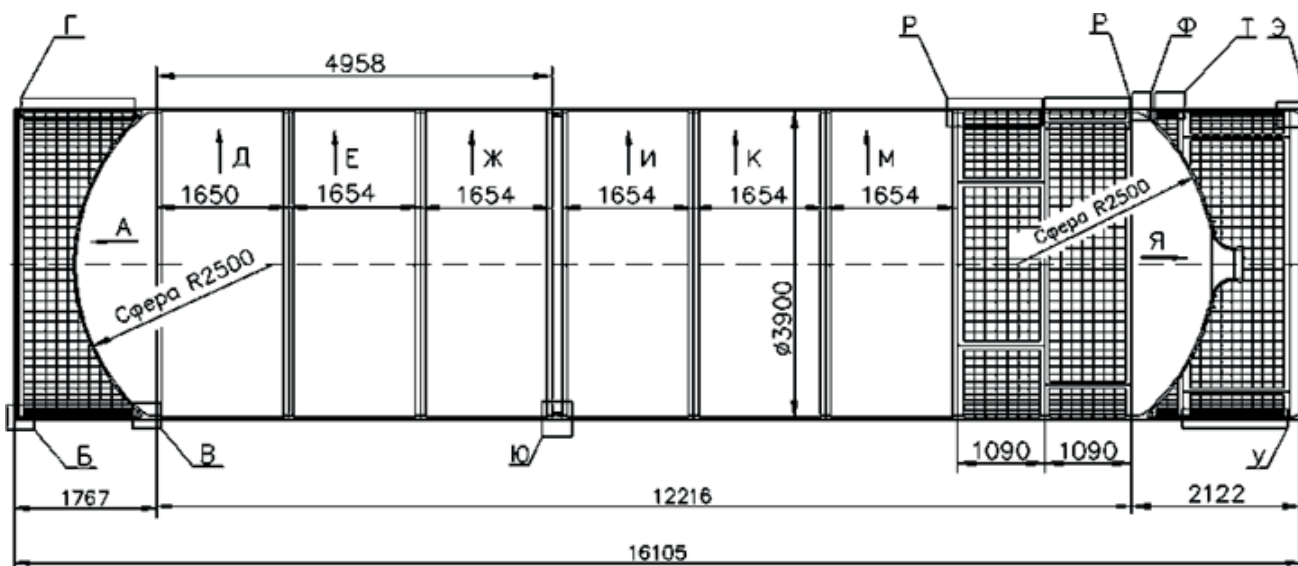


Рис. 17 – Загальний вигляд бака першого ступеню

Для зіставлення розрахункових деформацій бака першого ступеня з результатами статичних випробувань побудовано розрахункову модель бака першого ступеня з урахуванням конструктивних особливостей. Розрахунки виконували за двома розрахунковими схемами у тривимірній постановці з урахуванням пластичних деформацій під час дії внутрішнього надлишкового тиску та тиску гідростовпа. Під час розрахунків бака МСЕ використовували топологічно регулярне розбиття на скінченні елементи вздовж осі бака та в кільцевому напрямку. При цьому дискретизацію проводили так, щоб центри скінченних елементів були близькими до місць установлення тензорезисторів. Розрахункові значення осьових та кільцевих деформацій обчислювали в центрі скінченного елемента.

Розрахунок НДС виконували для фрагмента бака, який складається з верхнього розпірного шпангоута, проміжного шпангоута та шести гладких обичайок – Д, Е, Ж, И, К, М. Місця установлення тензорезисторів для статичних випробувань розміщено у цьому фрагменті.

Розрахункові схеми розглянутого фрагмента бака в аксонометричній проекції подано на рис. 18:

- сектор бака від площини II до площини III (від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ), у якому на меридіональних площинах  $X = 0$  та  $Y = 0$  приймали умови симетрії  $U_x = 0$  та  $U_y = 0$  (рис. 18, а);
- сектор бака від площини IV до площини II (від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ ), у якому на меридіональних площинах  $Y = 0$  приймали умови симетрії  $U_y = 0$ , в точці  $X = 0, Y = 0, Z = 4$  см  $U_x = 0$ , щоб обмежити зміщення в напрямку осі X (рис. 18, б).

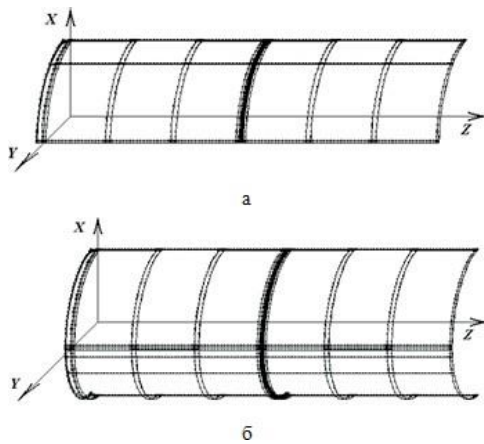


Рис. 18 – Розрахункові схеми бака першого ступеню

Перша розрахункова схема (рис. 18, а) дає можливість врахування впливу на деформацію бака потовщення полотна (на периметрі  $60^\circ$ ) трьох верхніх обичайок, а друга (рис. 18, б) – врахування впливу по-вздожнього ребра.

Деформований стан фрагменту бака при дії внутрішнього надлишкового тиску  $0,75$  МПа з урахуванням тиску гідростовпа наведено на рис. 19.

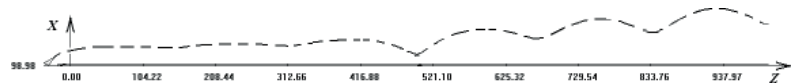


Рис. 19 – Деформований стан фрагменту бака (масштаб переміщень 50:1)

Максимальні пластичні деформації реалізуються в обичайці  $M$  при  $Z \approx 917$  см (дещо нижче її середини). Міцність фрагмента бака лімітовано міцністю циліндричної обичайки  $M$ . Згідно з діаграмою деформування сплаву АМгбНПП руйнування відбудеться за внутрішнього надлишкового тиску  $0,97$  МПа.

Проведені розрахункові дослідження бака першого ступеня показали, що значення отриманих розрахункових деформацій задовільно співвідносяться з експериментальними даними, за деяким винятком. Кільцеві деформації, отримані в результаті розрахунків, перевищують експериментальні дані, і ця різниця зростає з підвищенням навантаження. За внутрішнього надлишкового тиску  $0,75$  МПа розрахункові кільцеві деформації в четвертій обичайці перевищують  $0,5\%$  та приблизно у два рази перевищують деформації за тиску  $0,53$  МПа, у той час як експериментальні значення неістотно відрізняються від лінійного закону, тобто практично є пружними. Це можна пояснити невідповідністю розрахункової діаграми деформування матеріалу дійсній діаграмі випробовуваного бака, неточністю задання граничних умов симетрії на меридіональних площинах для обох розрахункових схем, похибкою метода скінченних елементів через витягнену форму елементів та використання декартових координат.

### **Оцінювання нестационарного температурного та силового впливу на функціонування елементів ракетної техніки**

За результатами спільних з Інститутом проблем машинобудування комп'ютерних досліджень головних обтічників та вузлів піротехнічної системи відокремлення розробляють рекомендації щодо внесення змін у конструкції, які сприятимуть зниженню вібраційних перенавантажень і температурних напружень, для забезпечення працездатності та підвищення надійності експлуатації виробів ракетної техніки. У тому числі ПМаш розглядав динамічні процеси в обтічнику ракети під час спрацювання піротехнічної системи відокремлення.

Конструкція обтічника є складною і містить у собі композитні та металеві елементи. Основним композитним конструктивним елементом є склопластикова обичайка з регулярними і нерегулярними зонами намотування. Набирання швидкості, яка необхідна для відокремлення обтічника, відбувається під дією імпульсного тиску від порохових газів в піротехнічній системі. Переміщення обтічника складається з переміщень руху як жорсткого цілого вздовж його осі та коливальних, які спричинені деформаціями.

Рух обтічника розраховували за тривимірною моделлю метода скінченних елементів (МСЕ) із застосуванням математичного забезпечення, яке використовує топологічно регулярну систему дискретизації. Розв'язання задачі виконували за неявною скінченно-елементною схемою Вільсона. Під час дослідження динаміки обтічника допускали дефект структури обичайки у вигляді розшарування, який у схемі МСЕ моделювали спеціальним методом. На поверхні припустимого розшарування по топологічним площинам шляхом трансформації скінченноелементної сітки створю-



вався розріз з подвійними вузлами. Модифікацію матриць жорсткості та мас для трансформованої сітки виконували на основі створеної інформаційної бази вироджених скінченних елементів і формалізованих матричних операцій. У чисельних дослідженнях було розглянуто два види розшарування від нерегулярних зон намотування склопластику – внутрішнє розташування від фланцю та крайове з виходом на вільний край обтічника. Розташування розшарувань, які для спрощення вважають вісесиметричними, наведено на рис. 20, де також позначено контрольні точки на зовнішніх поверхнях обичайки і поверхнях розшарування.

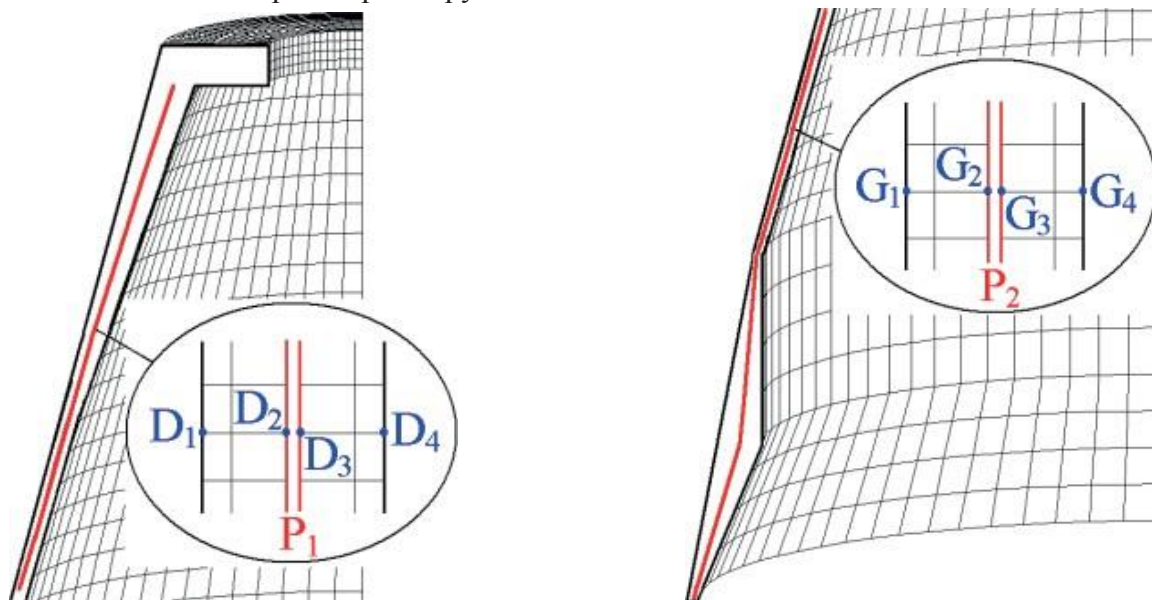


Рис. 20. Види розшарування в обичайці

Подано результати розрахунку коливань за берегами розшарування та дані про перерозподіл динамічних напружень унаслідок розшарування. Радіальні та осьові переміщення під час переходу через поверхню розшарування зазнають розриву, який для внутрішнього розшарування значно менший, що пояснюється стискуванням деформації для цього випадку на відміну від розшарування, яке виходить на границю. Під час оцінювання відносних осьових переміщень виключали складову переміщення жорсткого цілого, яку визначали окремим розрахунком. Максимальні радіальні переміщення за розшарування від краю досягають 3 мм, що в півтора рази більше, ніж для цільної обичайки. Графіки зміни радіальних  $u_r$  та осьових  $u_z$  переміщень подано на рис. 21 і 22.

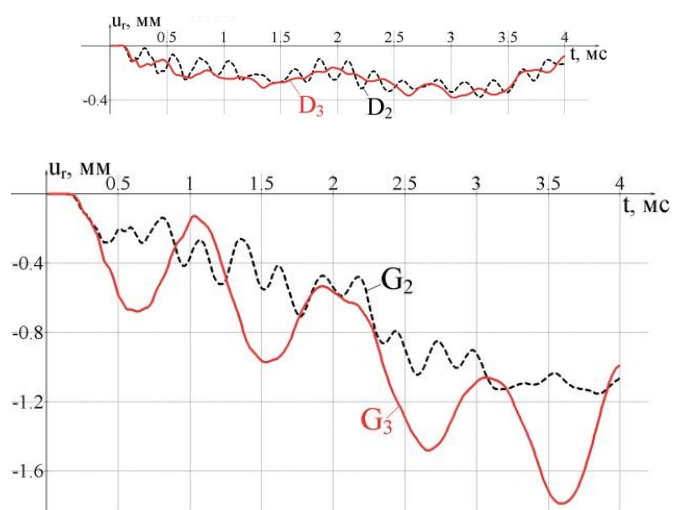


Рис. 21. Переміщення  $u_r$  у точках  $D_2$ ,  $D_3$  (розшарування  $P_1$ ) і  $G_2$ ,  $G_3$  (розшарування  $P_2$ )

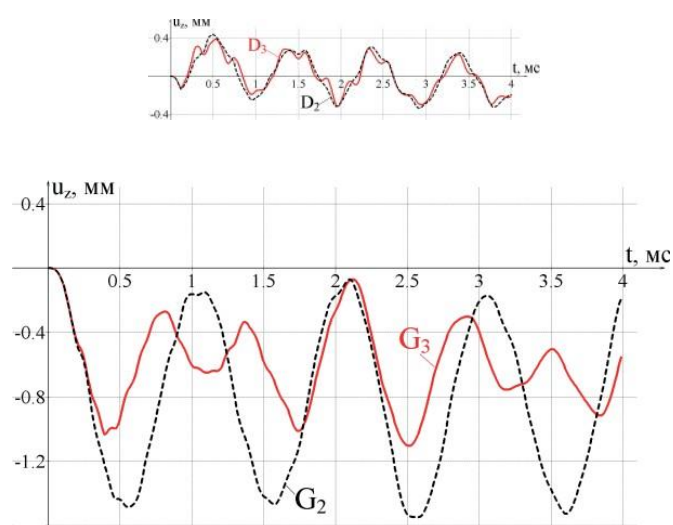


Рис. 22. Переміщення  $u_z$  у точках  $D_2$ ,  $D_3$  (розшарування  $P_1$ ) і  $G_2$ ,  $G_3$  (розшарування  $P_2$ )



Максимальними від дії інерційних сил під час набирання швидкості є осьові напруження та їх перерозподіл унаслідок розшарування і зміна у часі для цільної та розшарованої обичайки у точках на її поверхні (точки  $D_1$ ,  $D_4$  і  $G_1$ ,  $G_4$ ) подано на рис. 23, 24. Їхній перерозподіл по шарах істотно більший для крайового розшарування, для якого максимальні значення збільшуються майже вдвічі відносно непошкодженої обичайки, що визначає цей вид розшарування як більш небезпечний.

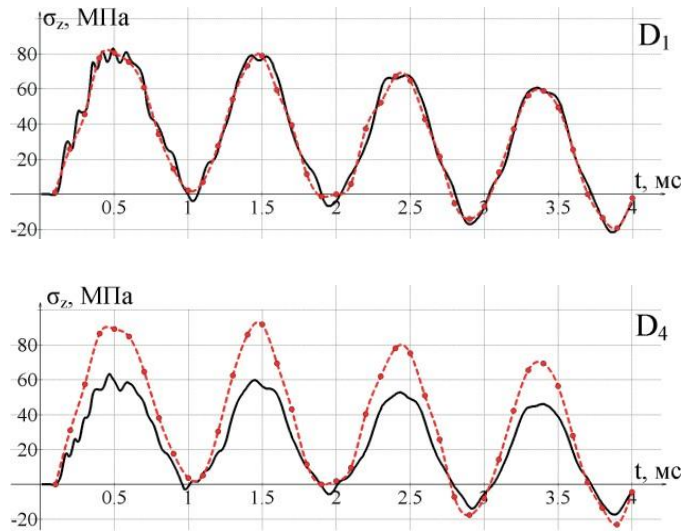


Рис. 23. Напруження  $\sigma_z$  у точках  $D_1$  і  $D_4$ :  
суцільна лінія – цільна обичайка; пунктирна  
лінія з точками – розшарування  $P_1$

Побудовано комплексну математичну модель динамічного стану композитного обтічника під час відокремлення від ракети, яка дозволила моделювати різного виду розшарування структури склопластикового корпусу для оцінювання перерозподілу напружено-деформованого стану. Змодельовано різного виду розшарування від нерегулярних зон композитного корпусу з внутрішнім розташуванням і виходом на вільний край обтічника. Перерозподіл номінальних напружень по шарах істотно залежить від розташування розшарування і особливо великий у випадку виходу його за межу композитного елемента.

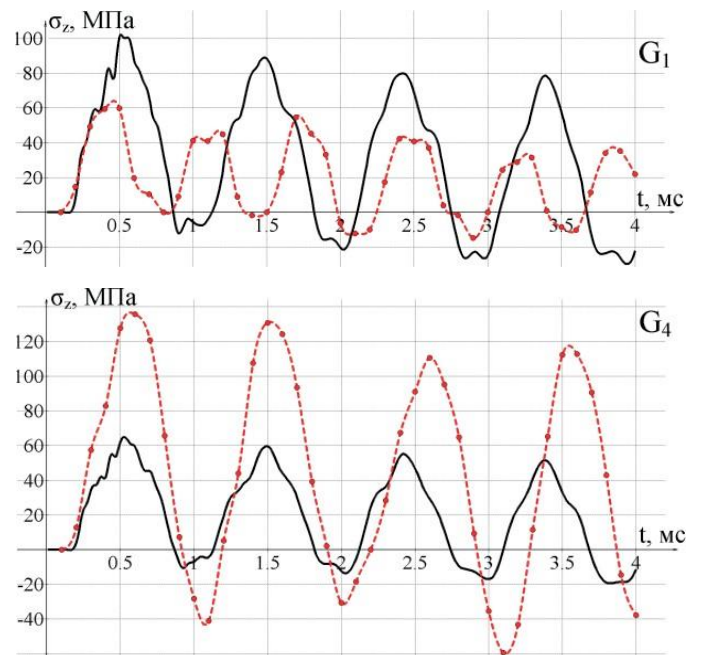


Рис. 24. Напруження  $\sigma_z$  у точках  $G_1$  і  $G_4$   
суцільна лінія – цільна обичайка; пунктирна  
лінія з точками – розшарування  $P_2$

## Напрямок №4 «Нові матеріали та перспективні технології»

Керівники робочої групи:

**Лобанов Л.М.** – заступник директора Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, академік НАН України;

**Потапов О.М.** – начальник комплексу нових матеріалів і перспективних технологій ДП «КБ «Південне», кандидат технічних наук

У рамках виконання Плану спільної науково-дослідної діяльності ДП «КБ «Південне» з науковими інститутами НАН України у 2020 році спільно з Інститутом проблем міцності імені Г.С. Писаренка проводили роботи за тематичним напрямом «**Одержання експериментальних даних про фізико-механічні і теплофізичні властивості композиційних та інших неметалевих матеріалів у широкому діапазоні робочих температур**».

Під час проведення досліджень було визначено рівень допустимих тисків на пакети різних типів багатофункціонального, а саме термостійкого та радіопоглинального, покриття на основі МФП-92 у робочому діапазоні температур від 20 до 1350°C. Випробування зразків МФП-92 (рис.1) проводили в умовах всебічного та однобічного нагрівання у повітряному середовищі. Для відтворення робочої температури використовували спеціально створене експериментальне обладнання (рис. 2). Всебічне нагрівання здійснювали у високотемпературній печі з хроміт-лантановими нагрівачами (рис. 2, а), а однобічне – за допомогою плоского графітового нагрівача під час пропускання через нього потужного електричного струму (рис. 2, б).

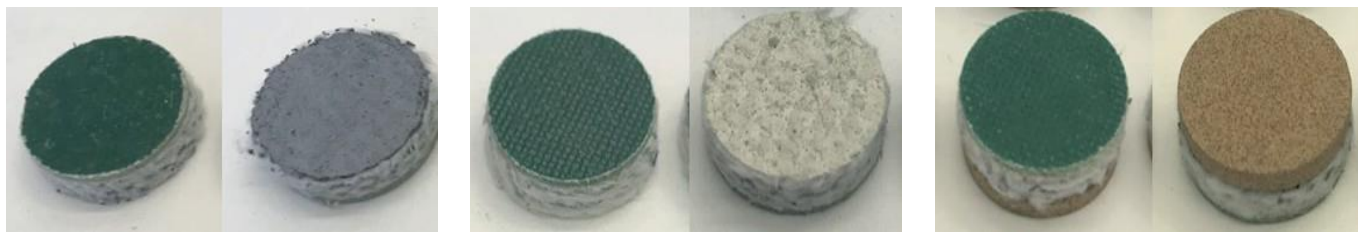
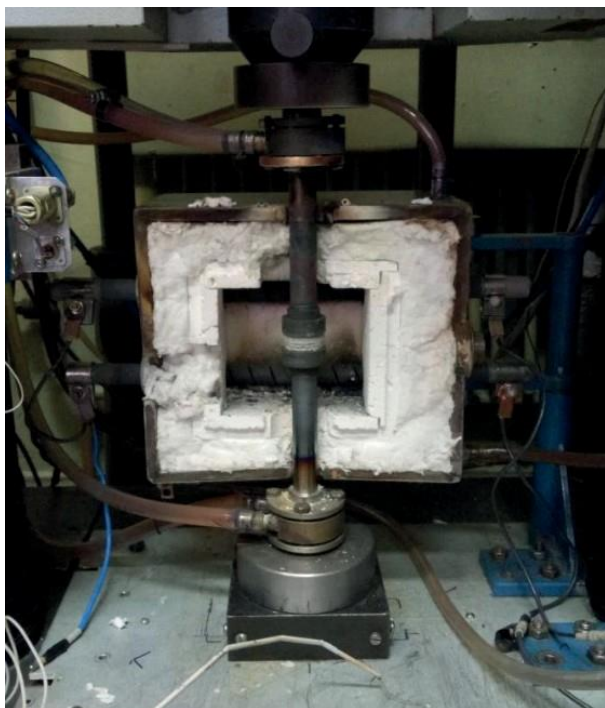


Рис. 1. Пакети покриття МФП-92 різних типів (вигляд із зовнішнього та внутрішнього боків) для випробувань на стиск



а



б

Рис. 2. Експериментальне обладнання для всебічного (а) й однобічного (б) нагрівання зразків

На рис. 3 подано результати визначення відносної деформації зразків МФП-92 за різних рівнів рівномірного тиску й однобічного нагрівання в діапазоні температур від 20 до 1350°C. Установлено, що пакети покриття на основі МФП-92 достатньо термостійкі і їх структура не зазнає істотних змін за робочих температур до 1100°C в умовах всебічного нагрівання та за температур до 1350°C в умовах однобічного нагрівання.

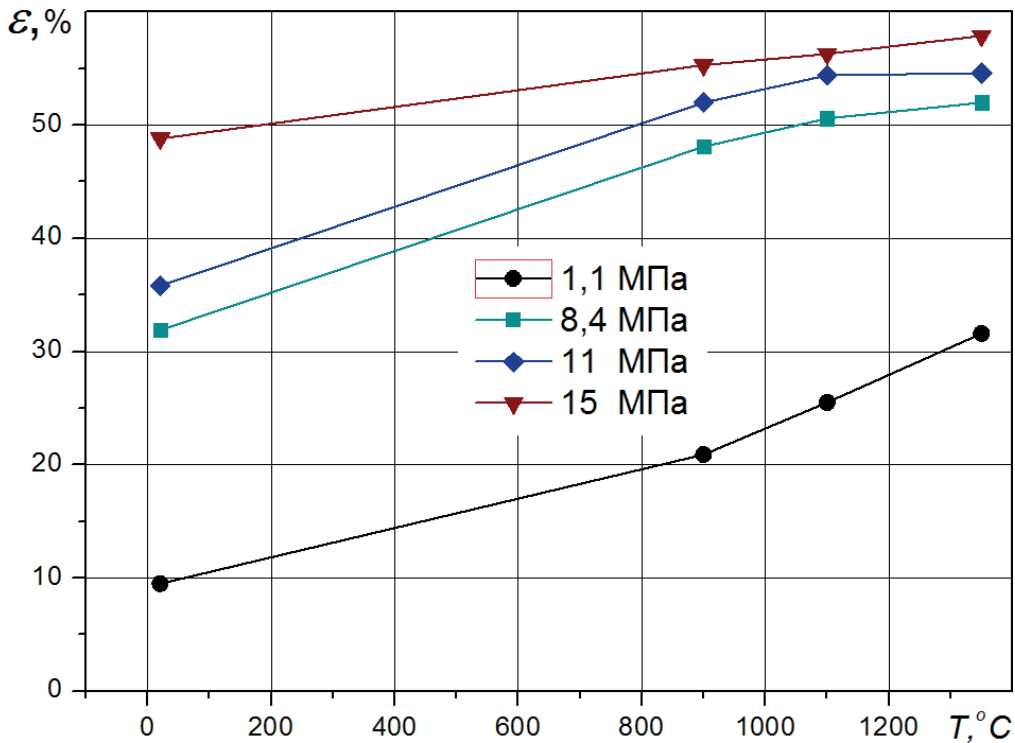


Рис. 3. Температурні залежності відносної деформації зразків МФП-92 за різних рівнів рівномірного тиску й однобічного нагрівання

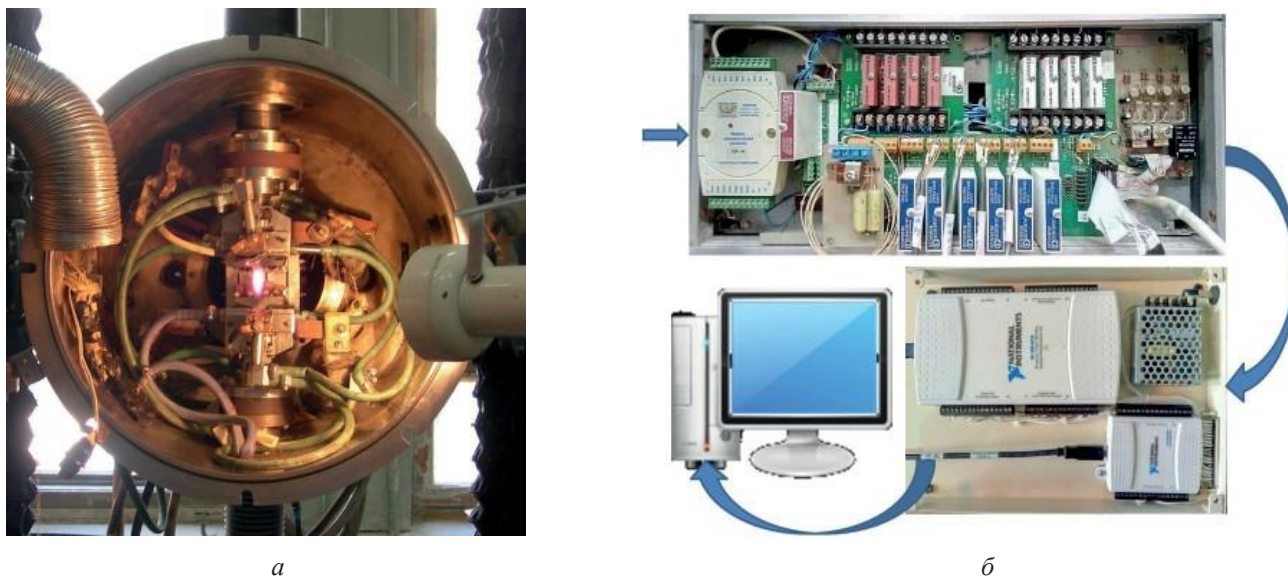
Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України виконав комплекс заходів щодо модернізації та створення нових випробувальних та інформаційних засобів для оцінювання міцності перспективних композиційних матеріалів і працездатності елементів конструкцій ракетно-космічної техніки за умов екстремального термосилового навантаження. Роботу фінансували в рамках Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2018-2022 рр. за пріоритетним напрямом «Науково-технічна підтримка виконання проектів, включених до Програми спільних досліджень НАН України і ДП «КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля».

Розроблено інформаційно-вимірювальну та керувальну системи СЗМ-MCS для випробувань вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів (ВВКМ) за температур до 3000°C. Складовими системи є випробувальна камера зі зразком і вимірювальними перетворювачами (рис. 4, а), модулі нормалізації аналогових і цифрових сигналів з гальванічною розв'язкою, модулі перетворення сигналів NI USB-6218 і NI USB-6501 (National Instruments, USA), персональний комп'ютер (рис. 4, б) та інші пристрої. Така будова системи забезпечила надійне вимірювання зусилля, деформацій або переміщень, температури та керування термосиловим навантаженням в умовах сильних електричних та електромагнітних перешкод.

Для роботи системи СЗМ-MCS створено сучасне програмне забезпечення SSCMTest (рис. 5), за допомогою якого проведено випробування на міцність ВВКМ, у тому числі багатоканальне вимірювання фізичних величин, подання та нагромадження отриманих експериментальних даних і керування силовим і термічним навантаженням у режимі реального часу. Програма має зручний графічний інтерфейс і призначена для роботи в ОС Windows 7/8/10.

Розроблено методику механічних випробувань і визначення фізико-механічних характеристик ВВКМ під час розтягу в умовах високих температур.





а б  
 Рис. 4. Експериментальне обладнання для випробувань ВВКМ: камера зі зразком ВВКМ під час випробування на розтяг (а), модулі інформаційно-виміральної та керувальної системи СЗМ-МС (б)

Значний інтерес становлять випробування композиційних і металевих матеріалів у вакуумі за температур до 1800°C і за певних умов до 2300°C. До таких матеріалів належать молібденові та ніобієві сплави та їх зварні з'єднання, різноманітні композити тощо, які можуть бути використані в елементах ракетно-космічної техніки. Для можливого проведення таких випробувань на наявних в Інституті машинах розроблено та виготовлено інформаційно-вимірвальну систему 1246-Р ІВС (рис. 6, а), а також дві системи автоматичного регулювання температури АСВРТ (рис. 6, б). Розроблення цих систем разом зі створенням відповідного програмного забезпечення дало змогу відновити працездатність призначених для таких випробувань машин та значно поліпшити їх технічні характеристики. Проведено калібрування за участі ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ» випробувальних установок зі створеними апаратними та програмними засобами й отримано відповідні сертифікати.

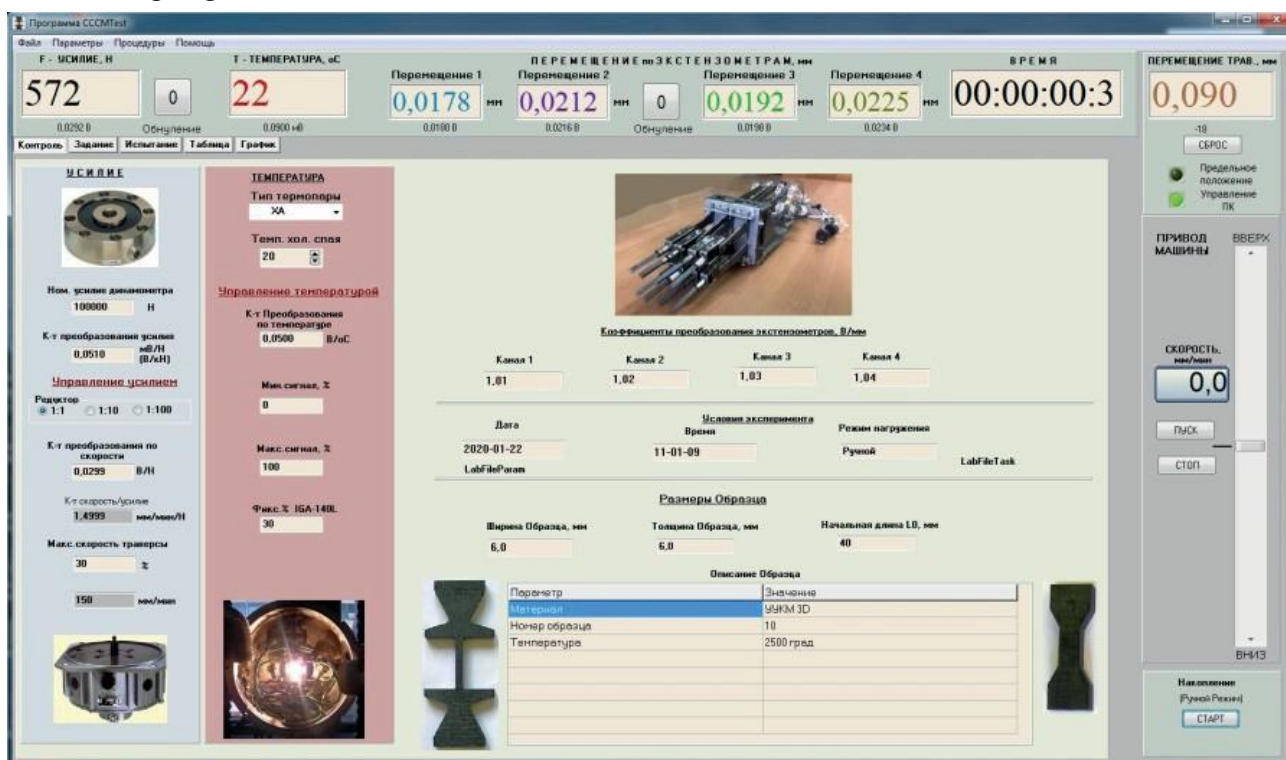


Рис. 5. Програма CCCMTest для випробувань зразків ВВКМ





а б  
Рис. 6. Інформаційно-вимірювальна система 1246P-IBC (а) і системи вимірювання та регулювання температури АСВРТ (б)

Розроблено програму загального призначення MEPR Calculator (рис. 7) для розрахунку модуля пружності, коефіцієнта Пуассона й інших механічних характеристик конструкційних матеріалів. Вона дозволяє забезпечити безперервну автоматичну візуалізацію розрахованих значень, скоротити час, необхідний для розрахунків, мінімізувати суб'єктивні помилки та похибки і, як наслідок, істотно підвищити достовірність визначення модуля пружності та коефіцієнта Пуассона конструкційних матеріалів.

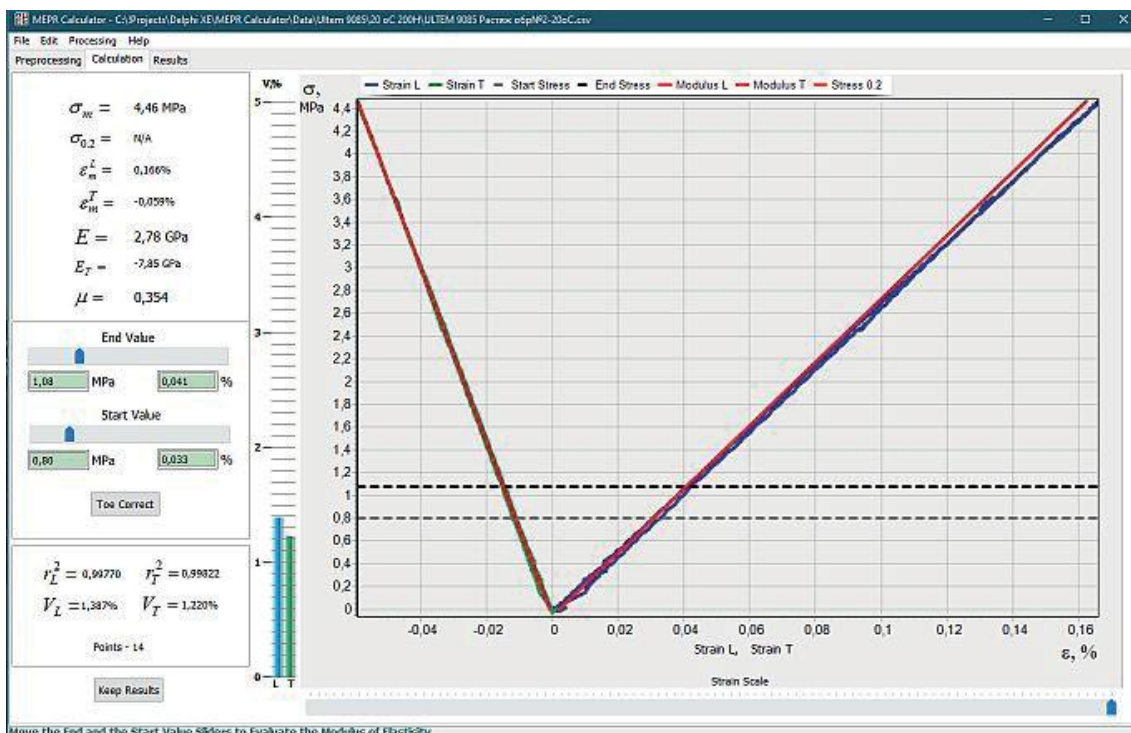


Рис. 7. Програма MEPR Calculator для розрахунку модуля пружності та коефіцієнта Пуассона

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України дослідив поведінку та визначив характеристики міцності, деформування та руйнування односпрямованого композита для випадку плоского напруженого стану за підвищених (до 300°C) температур. Випробування проведено в широкому діапазоні умов навантаження та термонапруженого стану (ТНДС) матеріалу на моделях ортотропної циліндричної оболонки, виготовленої неперервним кільцевим намотуванням (90°C). Основні дані отримано в результаті випробувань тонкостінного ортотропного циліндра, зміцненого односпрямованим вуглепластиком (IMS65 E23 24K + Huntsman) в коловому напрямку.

Проведення досліджень міцності на моделях є досить складним методичним завданням. При цьому основні труднощі зумовлені як специфікою конструкції, так і умовами її навантаження, і, як правило, пов'язані з необхідністю дотримання досить жорстких вимог до точності вимірювання та регулювання температури, деформації та навантаження, а також до однорідності теплового і напружено-деформованого стану в робочій зоні. Вирішенню завдань такого роду було приділено значну увагу під час модернізації експериментальних установок, модифікації розроблених раніше та створення нових методик проведення високотемпературних випробувань композиційних матеріалів з певними акцентами на методики й експериментальні засоби для вивчення працездатності оболонок в умовах експлуатації. Розроблені методики досліджень передбачають використання можливостей створених в Інституті проблем міцності випробувальних комплексів «Вулкан» та «Електрон», їх модернізацію й адаптацію стосовно випробування циліндричних моделей з композиційних матеріалів. Базову структуру комплексу «Вулкан» становить універсальна машина 1958У-10-1 для випробування матеріалів, яка призначена для статичних випробувань на розтяг, стиск, зсув, згин, короточасну повзучість, релаксацію та малоциклову втому металів, конструкційних полімерів у широкому діапазоні навантажень, швидкостей деформування. Машину оснащено трьома типами датчиків навантаження, деформації та переміщення, передбачено можливість спільної роботи з комп'ютером.

Випробування моделей і визначення параметрів їх міцності та пружності за нормальної температури виконували відповідно до вимог стандарту ASTM D5450, згідно з яким на поверхні робочої зони оболонки були розміщені тензорезистори (рис. 8, а). Для випробування моделі та визначення параметрів її міцності та пружності за підвищених температур систему вимірювань деформацій реалізують за допомогою датчиків переміщення (екстензометрів) (рис. 8, б).

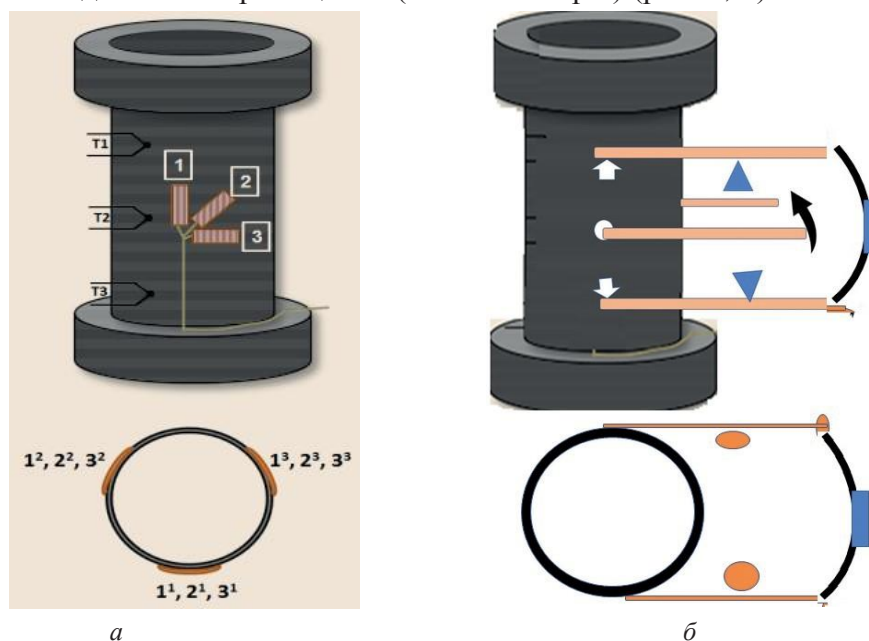


Рис. 8. Схеми розміщення й орієнтації на зовнішній поверхні моделі тензорезисторів (а) і екстензометрів (б)

Реалізовано такі методичні рішення, які забезпечили можливість проведення досліджень у широкому діапазоні співвідношень осьової та колової компонент напружень (деформацій) та розв'язання таких задач:

1. Деформування в осьовому напрямку (перпендикулярному напрямку волокон) – стиск і розтяг; режим випробувань – силове навантаження.
2. Деформування в осьовому та коловому напрямку; режим випробувань – внутрішній тиск за відсутності силового навантаження.
3. Деформування в коловому напрямку (у напрямку волокон) в умовах розтягу; режим випробувань – внутрішній тиск з компенсацією силовим навантаженням стиску.

Конструкційне вирішення цього питання ілюструють наведені на рис. 9, 10 схеми передачі зусилля під час випробування моделі.

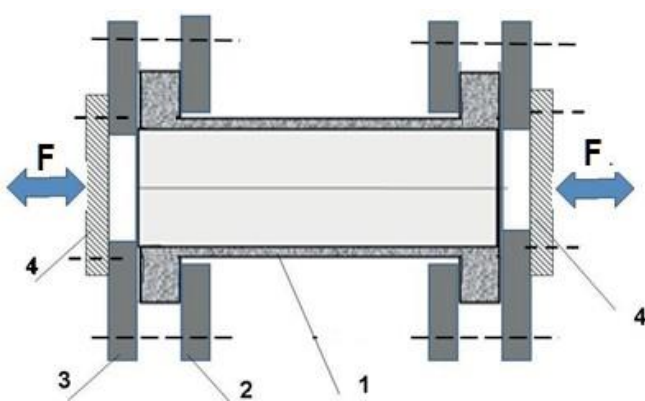


Рис. 9. Схема передачі зусилля на розтяг та стиск: 1 – модель; 2 – розрізний фланець; 3 – стикувальний фланець; 4 – елементи траверсу випробувальної машини

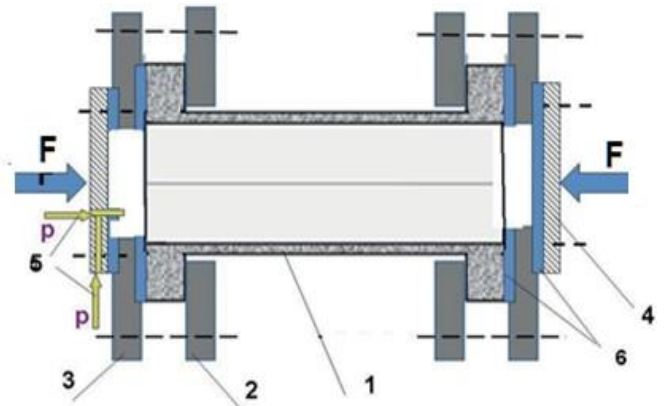


Рис. 10. Схема передачі зусилля в умовах навантаження внутрішнім тиском: 1 – модель; 2 – розрізний фланець; 3 – стикувальний фланець; 4 – елементи траверсу випробувальної машини; 5 – елементи підведення й керування тиском; 6 – ущільнювальні пристрої

Процедури випробувань при підвищених температурах до 300°C припускали і ступінчасту послідовність: в умовах відстеження випробувальною машиною мінімального заданого навантаження стиску (близько 10 Па), що забезпечує практично вільне теплове деформування зразка. Після завершення процесу підвищення і стабілізації температури проводиться активне підвищення навантаження стискування. Така програма навантаження дозволила отримати інформацію про залежність від температури діаграм деформування ( $\sigma$ - $\epsilon$ ), модуля пружності в осьовому напрямку та коефіцієнтів лінійного термічного розширення в осьовому і окружному напрямках. Результати випробувань при підвищених температурах представлені на рис. 11-14.

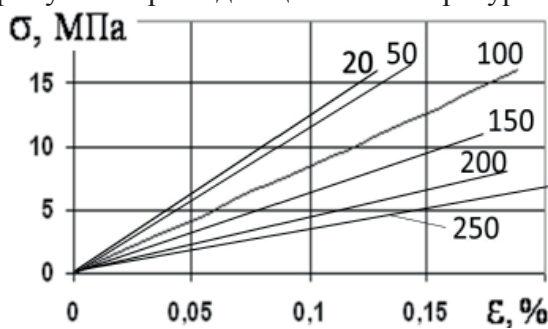


Рис. 11. Залежність  $\sigma$ - $\epsilon$  від температури в осьовому напрямку для оболонки, випробуваної під час стискування

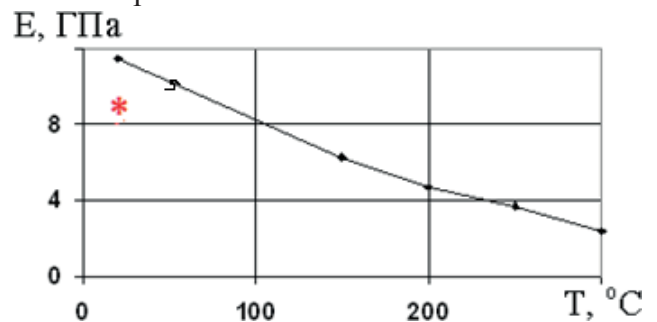


Рис. 12. Залежність модуля пружності від температури в осьовому напрямку для оболонки, випробуваної під час стискування. Червоною зірочкою на графіку показано значення модуля під час стандартного випробування зразків

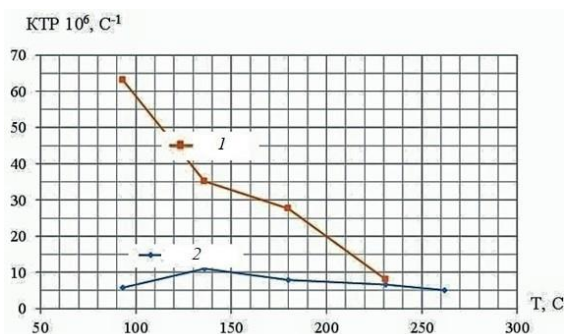


Рис. 13. Залежність коефіцієнта термічного розширення матеріалу оболонки від температури в осьовому (1) та коловому (2) напрямках



Рис. 14. Вигляд зони руйнування оболонки, випробуваної під час стискування за температури 300 °C



Вивчення особливостей деформування та характеристик матеріалу в поздовжньому напрямку (поперек волокон) в умовах розтягування проведено за режимами 1 і 2. Усереднені дані про характер деформування оболонки під час розтягування подано на рис. 15, 16. Як видно з графіка (рис. 15), характер деформування під час навантаження за режимами 1 і 2 практично однаковий. Так, зокрема, діапазон відхилень значень середнього модуля пружності в осьовому напрямку становить 7,5-8,2 ГПа.

Під час визначення модуля пружності й аналізу кінетики деформування на різних стадіях навантаження спостерігаємо особливості, які реєструють практично всі датчики. Так, на першій стадії синхронного зростання осьової та колової складових напружень спостерігаємо більш високі значення модуля, понад 250 МПа. На третій стадії, якщо відсутні осьові напруження, модуль – до 200 МПа.

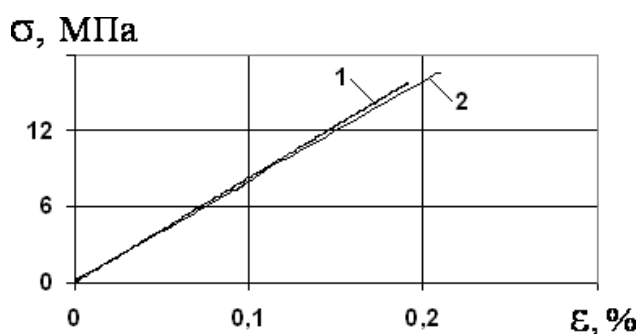


Рис. 15. Залежність  $\sigma$ - $\varepsilon$  для оболонки № 1, випробуваної за температури 20 °С: 1 – за режимом 1; 2 – за режимом 2

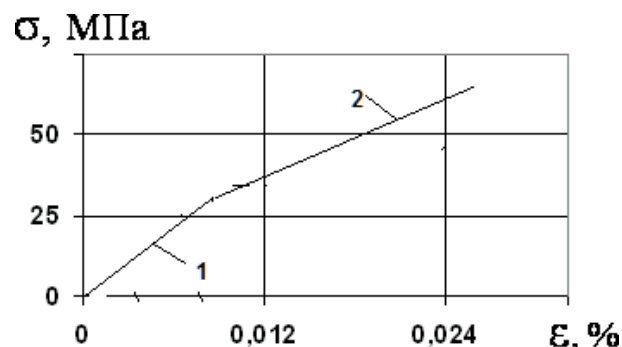


Рис. 16. Діаграма  $\sigma$ - $\varepsilon$  в окружному напрямку (3 датчик). Модуль пружності: 1 – 260 ГПа; 2 – 205 ГПа

Для визначення характеру деформування та пружних характеристик матеріалу були також проведені дослідження поведінки циліндричної оболонки під час навантаження внутрішнім тиском без накладення зовнішніх обмежень до її руйнування. У ході випробувань отримано діаграми деформування матеріалу оболонки в коловому напрямку за різних рівнів внутрішнього тиску до 8,5 МПа.

Експериментальні дані про закономірності деформування матеріалу моделей конструкцій під час навантаження до 8-10 МПа свідчать про те, що з підвищенням температури спостерігається тенденція до підвищення деформативності та зниження модуля пружності. Темп зниження зростає за температури вище 200°С. Отримані дані можуть бути використані безпосередньо в розрахунках міцності.

У 2020 році продовжилася багаторічна співпраця ДП «КБ «Південне» та Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України за напрямом «**Розроблення технології виконання зварних з'єднань методом зварювання тертям з перемішуванням. Розроблення та виготовлення зварювального інструмента**». Протягом першого етапу спільного договору було проведено роботи щодо відпрацювання технології зварювання високоміцних алюмінієвих сплавів 7075, 2219 та 2099. Спеціалісти ІНМ ім. В.М. Бакуля розробили спеціалізовані інструменти для зварювання кожного типу алюмінієвого сплаву, відпрацювали оптимальні режими їх роботи, а також конструкцію інструмента (рис. 17, 18), досягнули бездефектності зварних з'єднань зразків алюмінієвих сплавів, одержаних методом зварювання тертям з перемішуванням.

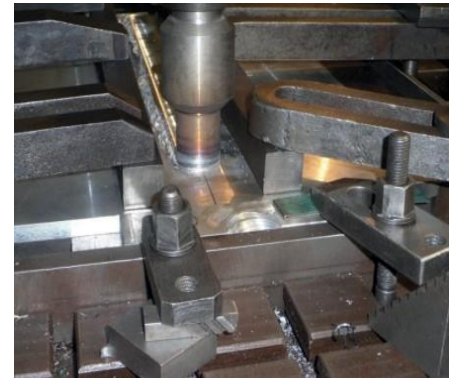
У рамках третього етапу договору в Інституті надтвердих матеріалів протягом 2020 року виконували роботи щодо відпрацювання технології зварювання тертям з перемішуванням заготовок імітаторів обичайкових конструкцій з алюмінієвого сплаву 2219. За результатами робіт було виготовлено зразок-імітатор обичайки діаметром 900 мм із сегментів сплаву 2219 за технологією зварювання тертям з перемішуванням (рис. 19, 20).

Використання технології зварювання тертям з перемішуванням дозволяє забезпечити одержання якісних зварних з'єднань бакових конструкцій із високоміцних сплавів, які неможливо одержати іншими методами зварювання, та істотно зменшити масу конструкцій.





*Рис. 17. Загальний вигляд процесу зварювання тертям з перемішуванням заготовок зі сплаву 2219*



*Рис. 18. Загальний вигляд процесу зварювання тертям з перемішуванням заготовок зі сплаву 2219*



*Рис. 19. Загальний вигляд зварених зразків плоских заготовок з алюмінієвого сплаву 2219 методом зварювання тертям з перемішуванням («лицьового» боку зварного з'єднання)*



*Рис. 20. Результати рентгенологічних досліджень якості зварних швів зразків плоских заготовок з алюмінієвого сплаву 2219, отриманих методом зварювання тертям з перемішуванням*

## Напрямок №5 «Основні проблеми ракетних двигунів на твердому паливі»

Керівники робочої групи:

**Бровко О.О.** – директор Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України, академік НАН України, доктор хімічних наук;

**Кириченко А.С.** – головний конструктор і начальник конструкторського бюро ДП «КБ «Південне» з розроблення ракетних двигунів на твердому паливі

Згідно з планом співробітництва ДП «КБ «Південне» та наукові установи НАН України у 2020 році продовжували роботи з розроблення технологій виробництва компонентів сумішевого твердого ракетного палива (СТРТ).

В Інституті загальної та неорганічної хімії проводили роботи щодо дослідження процесу електролізу хлориду та хлорату натрію на титанових анодах, покритих оксидами рідкоземельних металів або оксидом свинцю на підкладці з оксиду марганцю (рис. 1).



Рис. 1. Титановий анод, покритий оксидами рідкоземельних металів на підкладці з оксиду марганцю

Велику увагу приділяли процесу диспропорціювання гіпохлориту натрію для підвищення виходів. Ці дослідження проводили для перенесення виробництва промислових електролізерів до нашої країни.

Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро з експериментальним виробництвом Інституту загальної та неорганічної хімії за результатами досліджень розробило новітню технологію та перспективний метод кристалізації перхлорату амонію. Перевагами цього методу є монодисперсність заданого розміру кристалів сферичної форми перхлорату амонію, низький вміст внутрішньо кристалізованої води й одночасна модифікація поверхні. На відміну від діючих стандартів розмірів кристалів перхлорату амонію, які дозволяють отримувати крупну або дрібну фракції продукту, запропонована технологія дозволяє значно (до 5 – 8 розмірів) розширити лінійку фракційного складу перхлорату амонію за рахунок отримання чітко прогнозованого розміру кристалів конкретної партії продукту (рис. 2). Зазначені характеристики є визначальними для отримання ракетного палива з чітко прогнозованими властивостями.



## Напрямок №6 «Рідинні рушійні установки»

Керівники робочої групи:

**Пилипенко О.В.** – директор Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор;

**Прокочук О.О.** – головний конструктор і начальник проектно-конструкторського бюро ДП «КБ «Південне» з розроблення рідинних ракетних двигунів

Протягом 2019 та 2020 років відповідно до Плану спільної науково-дослідної діяльності ДП «КБ «Південне» та наукові організації НАН України за напрямом «рідинні рушійні установки» проводили роботи з розроблення технології й обладнання для зварювання великогабаритних соплових блоків рідинних ракетних двигунів (РРД), виготовлених з нержавіючої сталі. Виконавець робіт – Дослідне конструкторсько-технологічне бюро Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України.

На проведення робіт з відпрацювання технології лазерного зварювання та наплавлення макетних соплових блоків РРД, складання переліку обладнання було укладено договір між ДП «КБ «Південне» та Державним підприємством «Дослідне конструкторсько-технологічне бюро Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України».

Договір передбачав виконання таких робіт за трьома етапами:

### – етап 1:

- підбір обладнання, необхідного для виконання робіт з розроблення технології лазерного зварювання великогабаритних соплових блоків РРД з випуском техніко-економічного обґрунтування;

### – етап 2:

- відпрацювання режимів лазерного зварювання таврових з'єднань на плоских зразках, методів ремонту з'єднань;
- відпрацювання режимів наплавлення за допомогою лазерного зварювання на плоских зразках;

### – етап 3:

- розроблення та виготовлення оснащення для виконання зварювання та наплавлення;
- налагодження режимів зварювання та наплавлення на придбаному ДП «КБ «Південне» обладнанні;
- відпрацювання технології й обладнання для лазерного зварювання та наплавлення на двох зразках малогабаритних блоків РРД.

На сьогоднішній день виконані всі три етапи робіт.

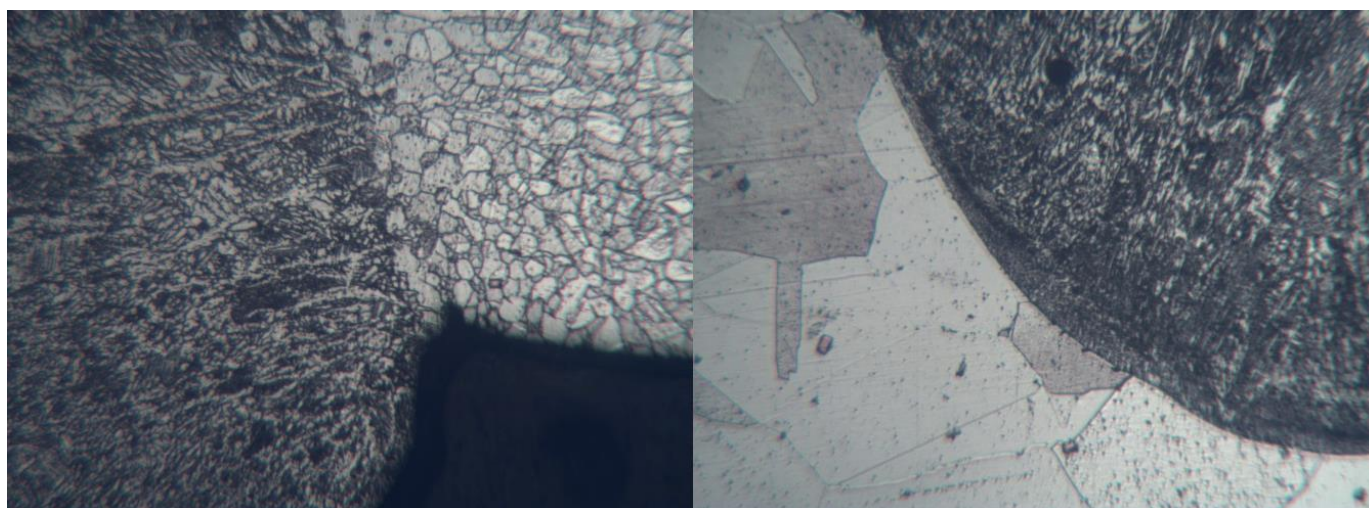
У рамках договору між ДП «КБ «Південне» та ДП «ОКТБ ІЕС ім. Є.О. Патона НАНУ» проведені роботи з оцінювання якості зварних з'єднань і наплавок, виконаних за новою технологією лазерного зварювання та наплавлення, на двох зразках малогабаритних соплових блоків (рис. 1).

Проведено металографічні дослідження зварних з'єднань і наплавок першого зразка малогабаритно соплового блока. Проведено аналіз і оцінку якості робіт, що передують зварюванню, і якості зварювальної апаратури безпосередньо під час зварювання (рис. 2, 3). Результати металографічних досліджень будуть використані для оптимізації зварювального процесу в подальшому.



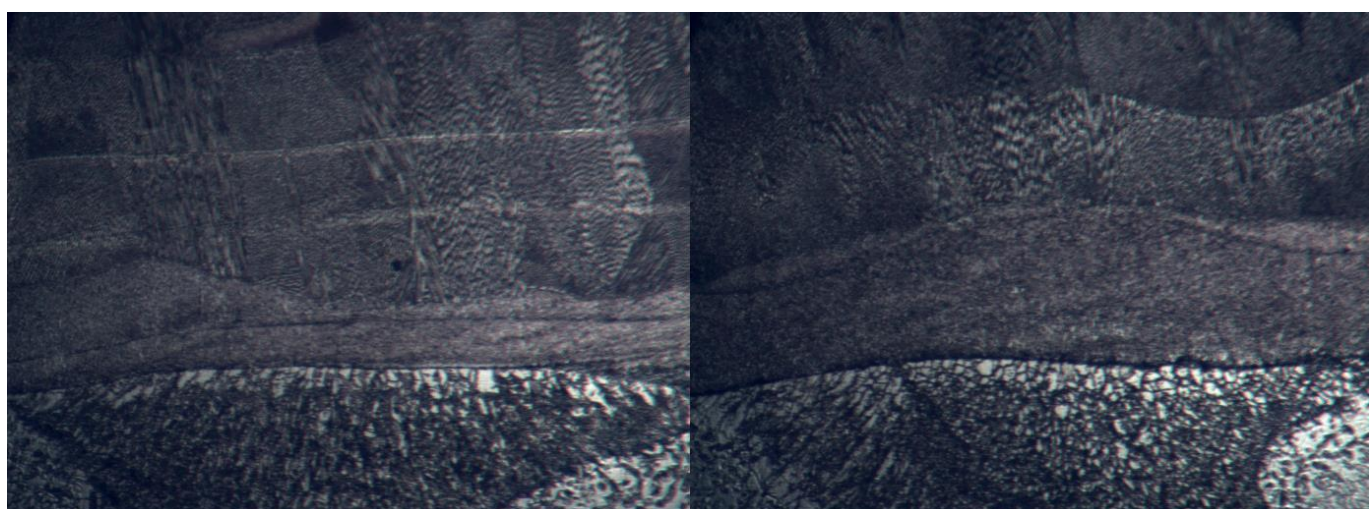


Рис. 1. Малогабаритний сопловий блок



а)

б)

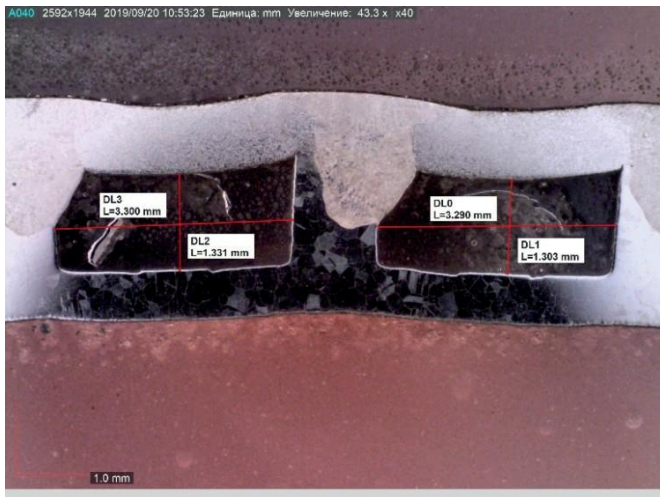


в)

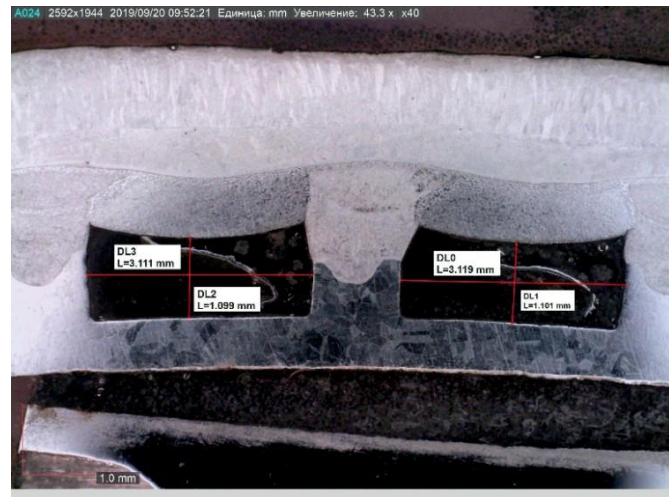
г)

Рис. 2. Мікроструктура зварних з'єднань (а, б) і наплавлених шарів  
(в, г) першого зразка малогабаритного соплового блока





а)



б)

Рис. 3. Зварні з'єднання (а, б) і наплавлені шари (б) першого зразку малогабаритного соплового блока



Рис. 4. Пролиття другого зразка малогабаритного соплового блока



Рис. 5. Гідровипробування другого зразка малогабаритного соплового блока

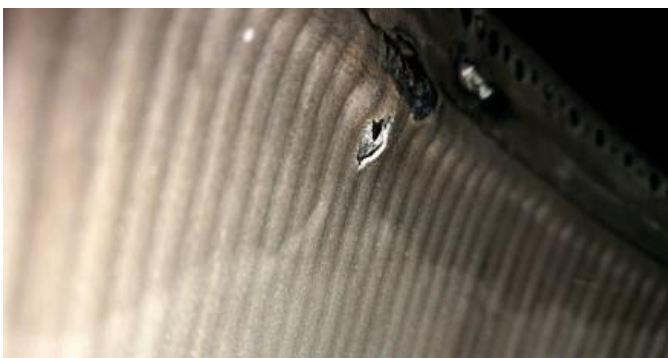


Рис. 6. Ділянка руйнування матеріалу стінки під час гідровипробувань

Оцінювання рівномірності проводили візуальним оглядом струменів води, що стікають з кожного каналу тракту охолодження соплового блока (рис. 4).

Успішно проведені гідровипробування на міцність з циклічним навантаженням 24 рази тиском 480 кгс/см<sup>2</sup> (рис. 5). Також після циклічних проведені випробування до руйнування. За тиску 1240 кгс/см<sup>2</sup> у результаті деформації стінки в області кільцевої канавки відбулося руйнування по основному матеріалу стінки (рис. 6). Раніше в грудні 2018 року під час випробування до руйнування першого зразка малогабаритного соплового блока було зафіксовано руйнування аналогічного характеру за тиску 960 кгс/см<sup>2</sup>.

Результати досліджень лазерних швів і наплавок на зразках малогабаритних соплових блоків показали технологічність і високу міцність отриманих з'єднань, а також доцільність подальшого впровадження нової технології. Цей підхід у перспективі дозволить відійти від використання класичної технології із застосуванням дорогого й унікального обладнання. Дозволить скоротити й оптимізувати технологічний цикл виробництва, відмовившись від тривалих і енергоємних технологічних операцій під час виготовлення охолоджуваних орбритних конструкцій великогабаритних соплових блоків, виробництво яких буде налагоджено на виробничих потужностях ДП «КБ «Південне».

## Напрямок №7 «Супутникові системи наукового і спеціального призначення»

Керівники робочої групи:

**Федоров О.П.** – директор Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України, член-кореспондент НАН України;

**Макаров О.Л.** – заступник Генерального конструктора ДП «КБ «Південне» з питань створення і експлуатації космічних апаратів, супутникових систем, контрольно-вимірювальних та інформаційно-керуючих засобів ракетно-космічного і наземного сегментів

Оцінюючи результати досліджень, проведених учасниками робочої групи «Супутникові системи наукового та спеціального призначення» у 2020 році, у першу чергу, слід відзначити продуктивне співробітництво ДП «КБ «Південне» та Інституту технічної механіки НАН і ДКА України.

Істотного прогресу було досягнуто у роботах з моделювання процесів функціонування рідинно-реактивних систем, які створюють у КБ «Південне». У ході робіт було визначено ступінь достатності умов наземного відпрацювання систем двигунів малої тяги для моделювання льотних умов за неавтономного живлення з магістралей маршового двигуна. Доопрацьовано існуюче програмно-методичне забезпечення для визначення параметрів гідравлічних і газодинамічних процесів у паливних трубопроводах за неавтономного живлення двигунів малої тяги у наземних і льотних умовах.

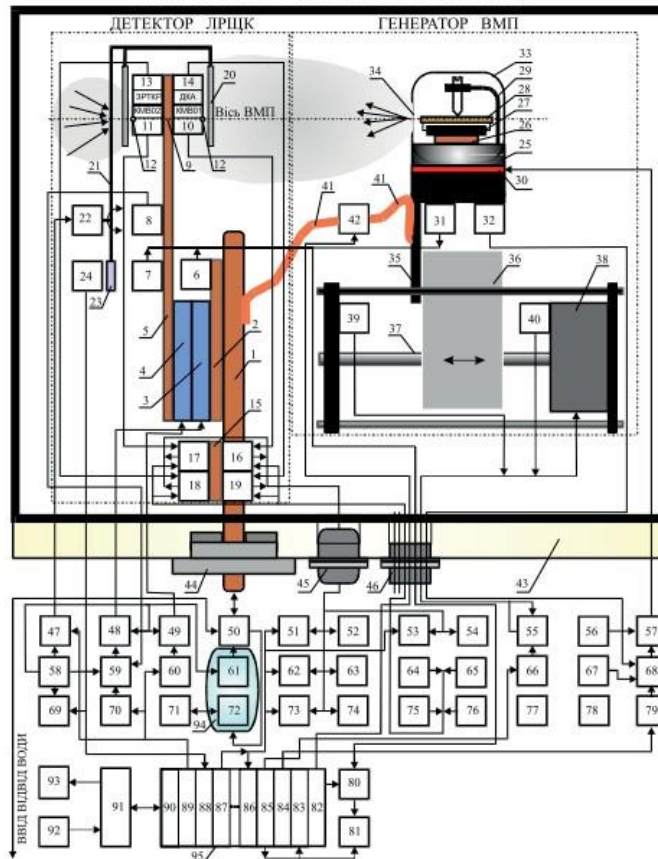
З використанням уточненої математичної моделі за результатами автономних вогневих випробувань двигунів малої тяги виконано розрахункове супроводження завершальних довідних випробувань рідинно-реактивної системи. Порівняння розрахункових результатів з даними комплексних наземних випробувань маршового двигуна та рідинно-реактивної системи підтвердило допустимість прийнятого методу експериментального моделювання роботи рідинно-реактивної системи. Розрахунок роботи цієї системи для льотних умов під час збурень від маршового двигуна свідчить, що параметри керувальних двигунів перебувають у діапазонах, що відповідають вимогам технічних завдань.

Значимість проведеної роботи полягає у створенні розрахункового методу супроводження наземного та льотного відпрацювання рідинно-реактивних систем, який дозволяє отримати додаткову інформацію про такі параметри, які складно визначити експериментальним шляхом. Отримані результати призначені для розрахункового супроводу льотних випробувань верхнього ступеня ракети космічного призначення «Циклон-4М».

Великий обсяг робіт провів Інститут технічної механіки щодо досліджень продуктів власної внутрішньої атмосфери космічних апаратів. Актуальність цих досліджень зростає у зв'язку з усе ширшим застосуванням у складі бортової апаратури сучасних космічних апаратів матеріалів з ненормованим рівнем власного газовиділення. У роботі проаналізовано джерела, що формують власну атмосферу космічних апаратів, і визначено їх можливий небажаний вплив на чутливі елементи бортової апаратури.

Для кількісної оцінки небажаного впливу продуктів власної внутрішньої атмосфери на чутливі елементи бортової апаратури розроблено методику лабораторного експерименту, що ставить за мету генерацію продуктів газовиділення зразків, які досліджують, та реєстрацію конденсованої складової, утвореної власною атмосферою. На базі цієї методики розроблено узагальнену схему лабораторного експерименту (рис. 1) та створено експериментальну систему, що дозволяє оперативно оцінювати наявність летких речовин у продуктах газовиділення матеріалів. Зовнішній вигляд компонентів цієї системи подано на рис. 2. Тестові та поточні експерименти підтверджують задовільну працездатність створеної системи.





1 – водоохолоджувальний контур; 2 – базова пластина; 3, 4 – модулі Пельєте ТЭМ01, ТЭМ02; 5 – охолоджувана пластина детектора; 6, 7, 31 – термометри опору ТС02, ТС01, ТС03; 8 – датчик температури термостата РТС01 детектора; 9 – робоча зона детектора; 10 – КМВ01; 11 – КМВ02; 12 – входні діафрагми; 13 – контрольний герметичний ЗРТКР; 14 – елемент апаратури ПКА; 15 – пластина блоку електроніки; 16, 17, 18, 19 – БЭ01, БЭ02, БЭ03, БЭ04; 20 – ПЗ; 21 – кормило УДЗ; 22 – електродвигун УДЗ; 23 – неодимовий магніт; 24 – геркон УДЗ; 25 – дисковий елемент гоівки ГВМП; 26 – теплопровідний міст; 27 – газовиділючий компонент (БИС); 28 – друкована плата; 29 – притисковий пристрій; 30 – нагрівач; 32 – датчик термостата РТС02; 33 ковпак формувача СМП; 34 – отвір щілина) формувача ВМП; 35 – власник гоівки ГВМП; 36 – теплоізолятор тримача; 37 – гвинт позиціонера; 38 – біполярний ШД; 39, 40 – кінцеві датчики; 41 – мідний тросик; 42 – блок герконів; 43 – фланець МВК; 44 – фланець; 45 – ВЧ-роз'єми; 46 – роз'єм ШР; 47 – БУ ПЗ; 48, 49, 57 – вольтамперметри; 50 – вентиль; 51, 62, 73, 53 – Ф5137; 52, 63, 74, 54 – осцилографи С1-93; 55 – драйвери БШД; 56 – ИП01 (+5В); 58 – ИП02 (+5В, +8В, +12В); 59 – термостат РТС01; 60, 70, 79 – БЭ-47; 61 – заглубна помпа; 64, 65, 75, 76 – АНП; 66 – БУ БШД; 77, 78 – вакуумметри; 80 – релейний комутатор; 81 – вольтметр В7-40; 82 – модуль РУР-1; 83, 86 – входні регістри; 84, 85, 89, 88, 89 – вихідні регістри; 90 – контролер ФК4410; 91 – ПК; 02 – клавіатура; 93 – дисплей; 94 – теплоізолюваний водяний балон; 95 – крейт системи КАМАК

Рис. 1. Узагальнена схема експериментів щодо дослідження внутрішньої атмосфери космічних апаратів:

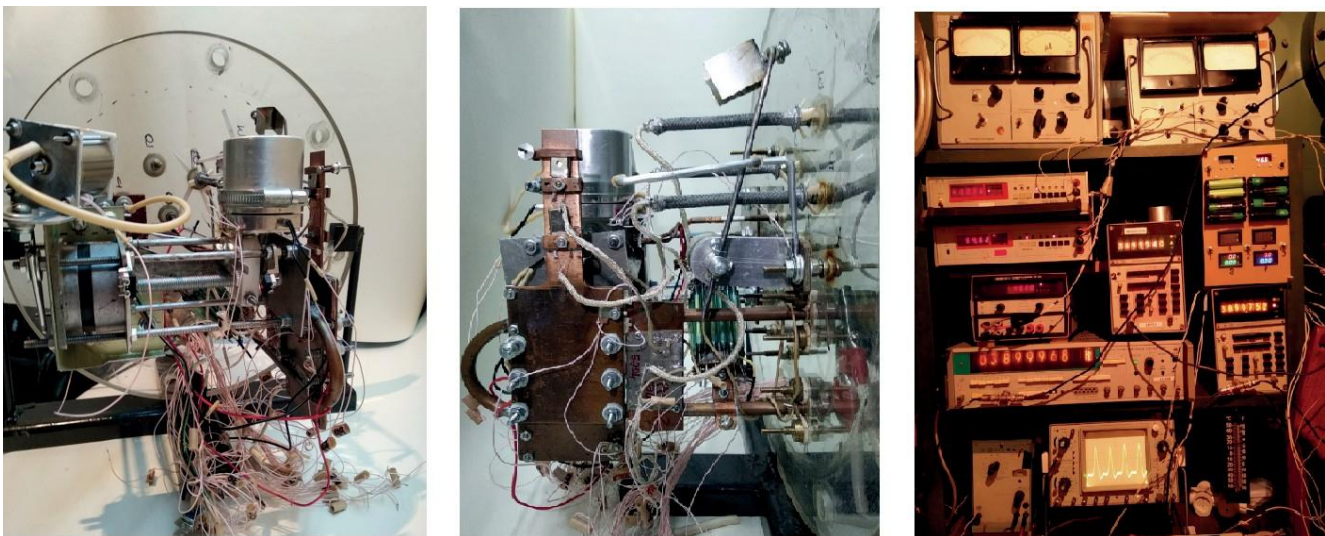


Рис. 2. Зовнішній вигляд елементів експериментальної системи для дослідження внутрішньої атмосфери космічних апаратів, створеної в Інституті технічної механіки

Спеціалісти ІТМ виконали експериментальні дослідження конденсації легких речовин, що виділяються у процесі газовідділення з наданих КБ «Південне» зразків матеріалів космічної техніки.



## Напрямок №8 «Системи керування»

Керівники робочої групи:

**Морозов А.О.** – директор Інституту проблем математичних машин та систем, академік НАН України, доктор технічних наук, професор;

**Давиденко С.О.** – начальник комплексу розробки, супроводження розробки систем і агрегатів, випробувань та експлуатації ракетних і ракетно-космічних комплексів ДП «КБ «Південне»

У 2020 році згідно з договором ДП «КБ «Південне» та ДП «Спеціальне конструкторське бюро з дослідним виробництвом Інституту фізики напівпровідників ім. В.С. Лашкарева НАНУ» проводили роботи за темою «Доопрацювання системи вимірювань робочого місця для проведення газодинамічних модельних випробувань (СВ РМ ГДВ)».

Систему СВ РМ ГДВ (рис. 1) використовують для вимірювання параметрів тиску та температури під час випробувань на універсальному газодинамічному модельному стенді (рис. 2).

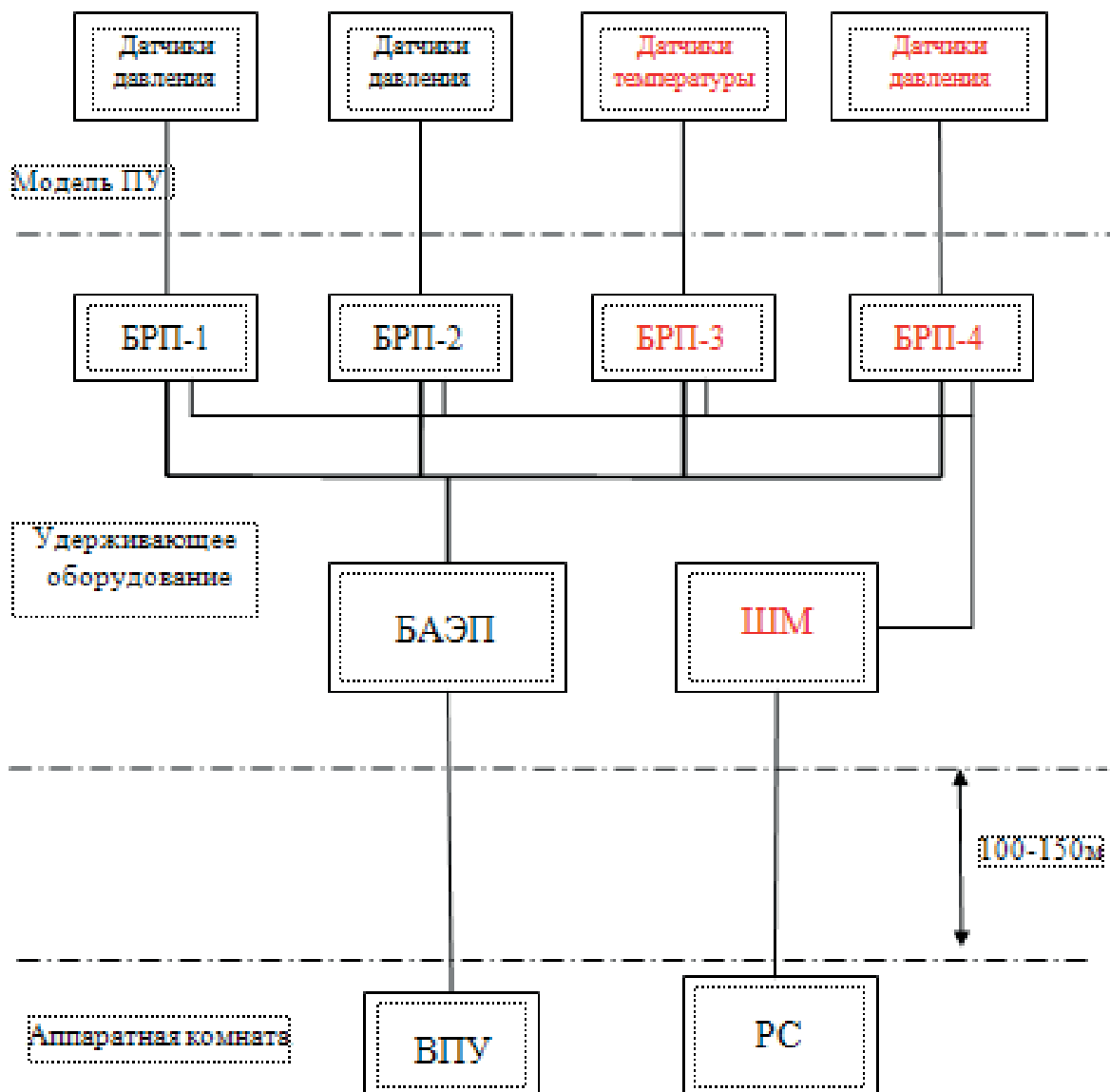


Рис. 1. Структурна схема системи вимірювань робочого місця для проведення газодинамічних модельних випробувань:  
БРП - блоки реєстрації вимірюваних параметрів; БАЕЖ - блок автономного електроживлення;  
ВПК - виносний пульт керування для дистанційного керування та контролю акумулятора;  
ШМ - шафа монтажна; РС - робоча станція; ПУ - пускова установка

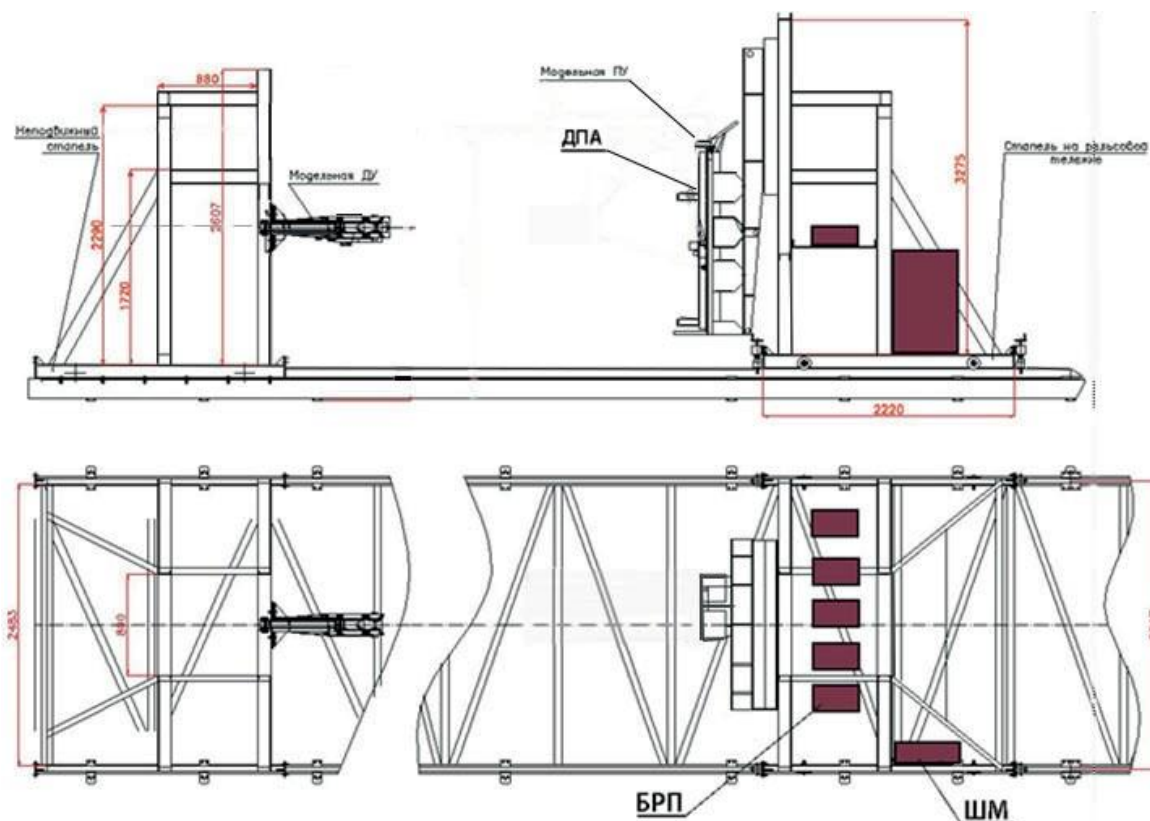


Рис. 2. Схема розміщення СВ РМ ГДВ:  
БРП - блоки реєстрації вимірюваних параметрів; ШМ - шафа монтажна

Система СВ РМ ГДВ забезпечує реєстрацію параметрів тиску і температури газового струменя під час впливу його на елементи моделі стартового комплексу з подальшою передачею зареєстрованої інформації на робочу станцію обробки вимірювань (рис. 3).



Рис.3. Циклограма роботи СВ РМ ГДВ

Режим роботи	Тривалість	Частота опитування
Режим 1 (підготовчий)	dt1 = 10 с	f1 = 10 Гц
Режим 2 (основний)	dt2 = 9 ÷ 15 с	f2 – відповідно до табл.1
Режим 3 (завершальний)	до заповнення пам'яті	f3 = 100 Гц

Доопрацювання СВ РМ ГДВ спрямоване на розширення можливостей вимірювань (табл. 1) шляхом додавання плат реєстрації з датчиками абсолютного тиску, введення незалежної пам'яті, уніфікації діапазонів і частоти опитування вимірювань, а також захисту чутливих елементів датчиків від теплового впливу газодинамічного струменя за допомогою установаження жиклерів на вхідні трубки датчиків.

**Таблиця 1 - Технічні характеристики СВ РМ ГДВ**

Найменування	Величина
Загальна кількість датчиків статичного тиску	165
Кількість точок вимірювань на моделях	до 120
Кількість одночасно задіяних каналів вимірів при випробуваннях	до 96
Діапазон вимірів	0,3 ÷ 11 кгс/см <sup>2</sup>
Гранична похибка вимірів (у % від вимірюваної величини)	±0,5%
Частота опитування основного процесу (f <sub>2</sub> )	от 0,5 до 5 кГц
Крок зміни частоти опитування	500 Гц
Тривалість основного процесу випробувань	от 9 до 15 с
Загальна тривалість випробувань	до 45 с

Також спільно з фахівцями ДП СКТБ проводили роботи з розроблення, виготовлення, випробування, постачання дослідних зразків системи багаторівневого сигналізатора тиску (СБСТ).

У контурі системи керування для підтримки тиску в камері згоряння двигуна РД861К застосовують датчик тиску ДД2Р-16КБ, 6Г2.320.436-0ТУ розроблення та виготовлення РФ. У зв'язку зі складністю постачання обладнання з РФ і відсутності аналогів датчиків українських і зарубіжних виробників КБ «Південне» розробило, виготовило, калібрувало й автономно відпрацювало макетний зразок системи багаторівневого сигналізатора тиску. До складу макетного зразка СБСТ входять контролер-реле тиску та датчик тиску РНЕ167 (виробництво фірми EFE-sensor L'essor Francais Electronique, Франція).

За результатами розроблення СБСТ і аналізу інформації, отриманої під час випробувань, визначено:

- перспективність конструкторських рішень, застосованих під час створення СБСТ;
- маса СБСТ майже в 8 разів менше застосовуваного раніше датчика ДД2Р-16КБ;
- достатня гнучкість настройки і калібрування пристроїв;
- можливість програмування пристроїв для реалізації різних алгоритмів контролю;
- можливість застосування такого класу пристроїв у подальших розробках ракетних двигунів.

У серпні 2019 року відповідно до договору з ДП СКТБ були виготовлені та пройшли попередні випробування на підприємстві-виробнику два дослідних зразка модуля контролера-реле тиску (МКРТ) зі складу СБСТ і поставлені на ДП «КБ «Південне» для участі у вогневих випробуваннях двигуна РД869К.

У червні 2020 року були проведені випробування для СБСТ зав. №001 і зав. №002 у телеметричному режимі з позитивним результатом. Підтверджено технічні характеристики приладів і їх відповідності заданим у технічному завданні вимогам.

При цьому через недостатнє фінансування робіт у кінці 2019 - початку 2020 років роботи було припинено і цикл заводських випробувань дослідних зразків СБСТ на підприємстві-виробнику не завершено.



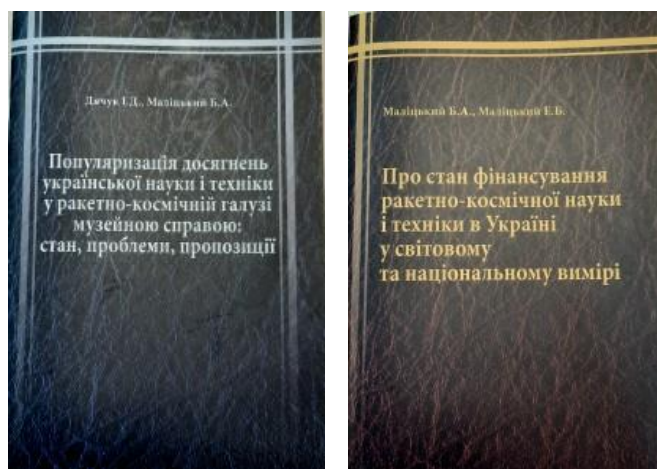
## Напрямок №9 «Історія і популяризація діяльності ракетно-космічної галузі»

Керівники робочої групи:

**Малицький Б.А.** – директор Інституту досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М. Доброва НАН України, доктор економічних наук, професор;

**Ткаченко В.Д.** – заступник Генерального директора ДП «КБ «Південне» з персоналу, комунікативної і соціальної політики.

У 2020 році Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М. Доброва та ДП «КБ «Південне» в рамках реалізації науково-технічного проекту НАН України «Ракетно-космічна наука і техніка України у світовому та національному вимірі: історичні, науково-технічні, соціально-економічні та військово-політичні аспекти» виконували роботи щодо розроблення матеріалів монографії з історії ракетно-космічної техніки.



Відповідно до затвердженого плану-проспекту монографії «Історія ракетно-космічної науки, техніки і промисловості України», КБ «Південне» здійснило ґрунтовну науково-дослідну роботу, розробило, систематизувало та надало НАН України матеріали до таких розділів монографії:

- I. Початок ракетобудування і космонавтики (XVI ст. і перша половина XX ст.).
- II. Ракетобудування і космічна діяльність в УРСР (1951-1991).
- III. Ракетобудування і космічна діяльність в Україні (1992-2021).
- IV. Висновки та погляд у майбутнє.
- V. Додатки.


Також, фахівці КБ «Південне» в рамках науково-дослідної роботи з укладання монографії підготували додаткові авторські матеріали:

- Енциклопедичні довідки про КБ «Південне» та Південний машинобудівний завод.
- Довідки про М.К. Янгеля, В.С. Будника, В.Ф. Уткіна, С.М. Конюхова, О.В. Дегтярева, О.М. Макарова, Л.В. Смирнова, Л.Д. Кучму, В.П. Горбуліна, В.М. Ковтуненка, М.Ф. Герасюту, І.І. Іванова, С.І. Уса, Ю.О. Сметаніна, П.І. Нікітіна, Б.І. Губанова, Е.М. Кашанова.
- Ракета Р-12, Ракета-14, Ракета-16.
- Система ПРО «Лист».
- Власне двигунобудування;
- Ракети-носії «Зеніт», «Циклон», «Дніпро».
- Внесок КБ у дослідження космосу.
- Ракети III і IV поколінь.
- Мінометний старт.
- Шахтні пускові установки.
- Провідні українські діячі в галузі ракетно-космічної техніки.

У 2020 році для популяризації та пропаганди науково-дослідної діяльності широко використовувались сучасні підходи та комунікаційні засоби. Особливу увагу приділено створенню та використанню мультимедійного контенту, його розповсюдженню через різноманітні інформаційні ресурси КБ «Південне». У соціальних мережах та на сайті підприємства постійно здійснювалося інформування громадськості про наукові досягнення українських учених, велась систематична робота з засобами масової інформації та молоддю

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

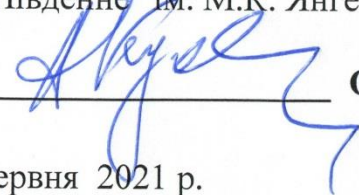
Перший віцепрезидент НАН України,  
академік НАН України

  
В.П. Горбулін

" 17 " червня 2021 р.

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Т.в.о. Генерального директора  
Державного підприємства "Конструкторське  
бюро "Південне" ім. М.К. Янгеля"

  
О.П. Кушнар'ов

" 17 " червня 2021 р.

**ПЛАН**  
**спільної науково-дослідної діяльності**  
**ДП «КБ «Південне» і наукових установ НАН України**  
**на 2021 рік**



№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
<b>Перспективи і стратегія діяльності ракетно-космічної галузі (група 1)</b>						
1	Пакет прикладних програм методичного забезпечення оптимізації проектних параметрів, програм керування та льотно-технічних характеристик ракет з маршовим двигуном на твердому паливі для початкового етапу проектування	Розробка пакета прикладних програм методичного забезпечення оптимізації проектних параметрів, програм керування та льотно-технічних характеристик ракет з маршовим двигуном на твердому паливі для початкового етапу проектування. Створення інструкції для користувача	Грудень 2021р.	Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ  ДП «КБ «Південне»	Науково-технічні пропозиції	<b>Узгоджено</b> Вих. ІТМ № 57/535-09 від 02.11.2020р.
2	Створення математичного апарату для системи наведення високоточної зброї	Створення програмного комплексу формування еталонних зображень в інфрачервоному діапазоні	Грудень 2021р.	Інститут проблем реєстрації інформації  ДП «КБ «Південне»	Технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ПІРІ №201-3/281 від 05.11.2020р.
		Створення програмного модуля підвищення просторової розрізняювальної здатності первинних інформаційних матеріалів	Грудень 2021р.	Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук  ДП «КБ «Південне»	Технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ІГН №143/222-08 від 30.10.2020р.
		Розробка алгоритму візуальної навігації	Грудень 2021р.	Інститут проблем математичних машин і систем  ДП «КБ «Південне»	Технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ПІММС №148/7-8 від 04.11.2020р.

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
3	Проведення підготовчих робіт зі створення системи високоточного наведення	Науково-технічний проект «Сканувальний радіометр 8мм діапазону з адитивношумовим пілот-сигналом»	Грудень 2021р.	Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова ДП «КБ «Південне»	Технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ІРЕ №65-389/31 від 12.08.2020р.
4	Проведення комплексу підготовчих робіт зі створення Місячної промислово-дослідницької бази	Варіантне опрацювання конструктивних рішень перетворюваних оболонкових конструкцій для населених службових модулів, орієнтованих на концепцію ДП «КБ «Південне» «Місячна промислово-дослідницька база»	Грудень 2021р.	Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона ДП «КБ «Південне»	Науково - технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ІЕЗ № 18/1061 від 15.10.20р.
		Вплив факторів космічного польоту та умов перебування на Місяці на організм людини, розробки експериментальної моделі гіпогравітації в наземних умовах	Грудень 2021р.	Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України ДП «КБ «Південне»	Науково - технічний звіт	<b>Узгоджено</b> на засіданні робочої групи
		Розробка наукових основ місячного рослинництва «закритого ґрунту», створення експериментальної моделі	Грудень 2021р.	Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного Національний ботанічний сад Інституту фізіології рослин і генетики ДП «КБ «Південне»	Науково - технічний звіт	<b>Узгоджено</b> на засіданні робочої групи

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
5	<p>Розвиток технологій водневої енергетики для використання в складі блоку енергозабезпечення Місячної бази.</p> <p>Розробка водневого акумулятора енергії на основі безмембранного електролізера високого тиску.</p> <p>Розробка та вдосконалення промислової технології безмембранних електролізерів високого тиску.</p>	<p>Дослідження по вибору оптимальної електричної схеми увімкнення електродів для забезпечення загального перепаду напруги не менш, ніж 40В.</p> <p>Вибір технології примусової сепарації газів в умовах низької гравітації на Місячній базі.</p> <p>Оцінка переваг та особливостей експлуатації безмембранних електролізерів у космічному просторі у складі Місячної бази.</p>	Грудень 2021р.	<p>Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного</p> <p>ДП «КБ «Південне»</p>	Технічний звіт	<p><b>Узгоджено</b></p> <p>Вих. ПМаш № 69396 від 12.10.18р.</p>
6	<p>Розвиток методів вирішення проблем створення та функціонування перспективних систем космічної техніки</p>	<p>Дослідження структури магнітного поля, придатного для ефективного примусового гальмування «намагніченого об'єкту» космічного сміття в іоносфері Землі</p>	Грудень 2021р.	<p>Інститут технічної механіки</p> <p>ДП «КБ «Південне»</p>	Анотований звіт	<p><b>Узгоджено</b></p> <p>Вих. ІТМ № 57/543-04 від 10.11.2020р.</p>
<b>Балістика, аеродинаміка і теплообмін (група 2)</b>						
7	<p>Визначення можливостей поліпшення траєкторних параметрів зенітних керованих ракет</p>	<p>Огляд та аналіз сучасних методів формування оптимальної траєкторій зенітної керованої ракети. Розробка швидкодійного методу, методики та алгоритмів оптимізації траєкторій зенітної керованої ракети. Визначення аналітичного вигляду оптимального закону керування зенітної керованої ракети</p>	Грудень 2021р.	<p>Інститут проблем реєстрації інформації</p> <p>ДП «КБ «Південне»</p>	Науково-технічний звіт	<p><b>Узгоджено</b></p> <p>на засіданні робочої групи</p>



№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
8	Розробка методики моделювання теплових процесів в паливному відсіку ракети-носія при підготовці до запуску та польоті.	Розробка методики та проведення тестових розрахунків поля температур рідкого кисню в паливному відсіку ракети-носія на етапі підготовки до запуску. Розробка методики та проведення тестових розрахунків температури рідкого кисню на виході з паливного відсіку при його спустошенні в польоті ракети-носія	Грудень 2021 р.	Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного  ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b>  на засіданні робочої групи
9	Розроблення програми розрахунку аеродинамічних характеристик, сил та моментів літальних апаратів на висоті більше 90 км, а також газодинамічних параметрів поблизу літальних апаратів	Розроблення методики розрахунку та основних розрахункових модулів програмного забезпечення	Грудень 2021 р	Інститут технічної механіки  ДП «КБ «Південне»	Технічний звіт	<b>Узгоджено</b>  на засіданні робочої групи
10	Розроблення методів розрахунку аеродинамічних характеристик літальних апаратів з урахуванням обертання	Розроблення методів розрахунку аеродинамічних характеристик літальних апаратів з урахуванням обертання	Грудень 2021 р	Інститут технічної механіки  ДП «КБ «Південне»	Технічний звіт	<b>Узгоджено</b>  на засіданні робочої групи
11	Розрахунок газодинамічних параметрів струменя продуктів згоряння палива двигуна ракети для багатосоплової компоновки	Розроблення програми розрахунку газодинамічних параметрів струменя продуктів згоряння палива двигуна ракети для багатосоплової компоновки	Грудень 2021 р	Інститут технічної механіки  ДП «КБ «Південне»	Технічний звіт	<b>Узгоджено</b>  на засіданні робочої групи

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
<b>Навантаження і міцність конструкцій (група 3)</b>						
12	Дослідження міцності стиків ракетних конструкцій із шаруватих композиційних матеріалів під час статичних і циклічних впливів та нагрівання числовими та експериментальними методами	Експериментальні випробування фрагментів стиків із композиційних матеріалів на дію статичних навантажень та нагрівання. Розробка методології врахування при розрахунку міцності стиків із КМ результатів експериментальних випробувань їхніх фрагментів	Грудень 2021р.	Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка  Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача  ДП «КБ «Південне»	Протокол и випробування.  Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b>  Вих. ППМіц № 56/418-1 від 07.11.2019р.  Вих. ПППММ № 75-15/302 від 01.11.2019р.
13	Дослідження міцності і стійкості оболонкових конструкцій із шаруватих композиційних матеріалів під час нерівномірного нагрівання й комплексного впливу статичних навантажень	Експериментальні випробування оболонкових конструкцій із шаруватих композиційних матеріалів під час нерівномірного нагрівання і комплексного впливу статичних навантажень. Розробка методології врахування при розрахунку міцності і стійкості оболонкових конструкцій із шаруватих композиційних матеріалів результатів експериментальних випробувань модельних оболонок	Грудень 2021р.	Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка  Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача  ДП «КБ «Південне»	Протокол и випробування.  Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b>  Вих. ППМіц № 56/418-1 від 07.11.2019р.  Вих. ПППММ № 75-15/302 від 01.11.2019р.
14	Дослідження міцності конструкцій із шаруватих композиційних матеріалів з дефектами структури	Розробка методики розрахунку параметрів, що характеризують міцність конструкцій із шаруватих композиційних матеріалів після появи дефектів структури	Грудень 2021р.	Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача  ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b>  Вих. ПППММ № 75-15/302 від 01.11.2019р.

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
15	Дослідження числовими і експериментальними методами впливу експлуатаційних факторів на залишкові фізико-механічні характеристики шаруватих композиційних вуглецевих матеріалів корпусу РДТП	Експериментальні дослідження впливу експлуатаційних факторів на залишкові фізико-механічні характеристики шаруватих композиційних вуглецевих матеріалів. Розробка методології врахування залишкових фізико-механічних характеристик шаруватих композиційних вуглецевих матеріалів при розрахунку міцності і стійкості оболонкових конструкцій	Грудень 2021р.	Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка  Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача  ДП «КБ «Південне»	Протоколи випробувань.  Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b>  Вих. ПМіц № 56/418-1 від 07.11.2019р.  Вих. ПППММ № 75-15/302 від 01.11.2019р.
16	Математичне моделювання задач термоміцності ракетних конструкцій	Розробка методології розв'язання задач термоміцності методом скінченних елементів	Грудень 2021р.	Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача  ДП «КБ «Південне»	Методичні матеріали	<b>Узгоджено</b>  Вих. ПППММ № 75-15/302 від 01.11.2019р.
17	Дослідження міцності заряду, міцноскріпленого з корпусом РДТП	Розробка програмно-методичного забезпечення проектного розрахунку міцності заряду, міцноскріпленого з корпусом РДТП, при дії експлуатаційних факторів (етап 1)	Грудень 2021р.	Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача  ДП «КБ «Південне»	Програма і методика проектного розрахунку	<b>Узгоджено</b>  Вих. ПППММ № 75-15/302 від 01.11.2019р.
18	Розробка методів зниження акустичних навантажень шляхом впорскування води. Видача рекомендацій щодо конструювання системи впорскування води	Розробка методів зниження акустичних навантажень шляхом впорскування води. Видача рекомендацій щодо конструювання системи впорскування води	Грудень 2021р.	Інститут гідромеханіки  ДП «КБ «Південне»	Анотаційний звіт	<b>Узгоджено</b>  Вих. ІГМ №54-261-1/6 від 30.10.2019р.

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
19	Розробка наукових методів, критеріїв та програмного забезпечення для розрахунку опору крихкому руйнуванню ракетних конструкцій при навантаженні в умовах старту	Розробка методів та критеріїв для розрахунку опору крихкому руйнуванню ракетних конструкцій при експлуатації в умовах старту космічних РН з урахуванням дефектів при виготовленні та передісторії передстартового навантаження	Грудень 2021р.	Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ПМаш № 52/749 від 11.11.2019р.
		Розробка програмного забезпечення для визначення опору крихкому руйнуванню конструкції та проведення тестового розрахунку паливного баку першого ступеню РН при навантаженні в процесі виготовлення, транспортування передстартової підготовки та старту РН	Грудень 2021р.		Науково-технічний звіт	
20	Розробка методів та прикладних технологій чисельного аналізу для проведення комп'ютерного моделювання руйнуючих випробувань систем ракетних озброєнь при статичному впливі та нагріванні	Розробка методів та технологій чисельного моделювання для визначення руйнуючих навантажень ракетних конструкцій при статичному впливі та нагріванні	Липень 2021р.	Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного ДП «КБ «Південне»	Технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ПМаш № 52/749 від 11.11.2019р.
		Проведення віртуальних руйнуючих випробувань системи стабілізації РС при теплосилових експлуатаційних впливах	Грудень 2021р.		Науково-технічний звіт	



№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
21	Розрахункове прогнозування механічного стану заправлених паливних відсіків космічних РН при нестационарних силових та динамічних навантаженнях	Розробка методів розрахунку та прикладних технологій чисельного моделювання механічного стану блоку II-го ступеню РН в умовах транспортування та технологічних робіт з заправленим паливним відсіком на космодромі при нестационарному силовому та динамічному навантаженні	Грудень 2021р.	Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ПМаш № 52/749 від 11.11.2019р.
22	Удосконалення програмного забезпечення та розрахункових моделей для порівняння з експериментальними даними з метою прогнозування несучої здатності паливних баків ракет	Удосконалення програмного забезпечення та розрахункових моделей для порівняння з експериментальними даними з метою прогнозування несучої здатності паливних баків ракет	Грудень 2021р.	Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ПМаш № 52/749 від 11.11.2019р.
23	Оцінка нестационарного температурного та силового впливу на функціонування елементів ракетної техніки	Оцінка нестационарного температурного та силового впливу на функціонування елементів ракетної техніки	Грудень 2021р.	Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ПМаш № 52/749 від 11.11.2019р.
24	Розробка і удосконалення методів прогнозування ресурсу та забезпечення надійності стартових комплексів космічних ракет-носіїв і оболонкових конструкцій ракетно-космічної техніки і енергетики	Аналіз можливих причин виникнення і методів визначення технологічних дефектів і експлуатаційних пошкоджень в оболонкових конструкціях; розробка математичних моделей та вибір методів, що можуть бути застосовані при визначенні параметрів НДС конструкцій з пошкодженнями і дефектами різного типу	Грудень 2021р.	Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ ДП «КБ «Південне»	Анотаційний звіт	<b>Узгоджено</b> Узгоджено в робочому порядку

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
25	Дослідження міцності і стійкості оболонкових конструкцій РН під час динамічних навантажень	Розробка методичних основ автономної відпрацювання газорідного демпфера повздовжніх коливань ракетно-носія (з сильфонним поділом середовищ)	Грудень 2021р.	Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ ДП «КБ «Південне»	Анотаційний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ІТМ № 54-261-1/6 від 30.10.2019р.
26	Проблематика конструкційних матеріалів	Аналіз механізмів руйнування композиційних матеріалів з дефектами типу «тріщина» при стисканні. Руйнування волоконних композитів при стисканні	Грудень 2021р.	Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ІМ №50-02-4-150 від 20.10.2020р.
27	Динаміка і міцність оболонкових елементів конструкцій при складному динамічному і статичному навантаженні у пружній зоні та за її межею	Розрахунок структурно-неоднорідних оболонкових елементів конструкцій ракетної техніки при дії статичних та динамічних навантажень	Грудень 2021р.	Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ІМ №50-02-4-150 від 20.10.2020р.
<b>Нові матеріали і технології (група 4)</b>						
28	Розроблення технології одержання вуглецевих волокнистих матеріалів зі структурою трикотажу і вуглепластиків на їхній основі	Розроблення та відпрацювання технології одержання вуглецевих волокнистих матеріалів зі структурою трикотажу і вуглепластиків на їхній основі	Грудень 2021р.	Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича  Казенний завод порошкової металургії  ДП «КБ «Південне»	Науково – технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Електронна пошта Вх.№ 20690ЕП від 07.10.2020р.

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
29	Одержання експериментальних даних про фізико-механічні і теплофізичні властивості термонавантажених композиційних та інших неметалевих матеріалів у широкому діапазоні температур	Проведення експериментальних досліджень по визначенню фізико-механічних і теплофізичних властивостей термонавантажених композиційних та інших неметалевих матеріалів у широкому діапазоні температур	Грудень 2021р.	Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка  Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича  Інститут технічної теплофізики  ДП «КБ «Південне»	Науково – технічний звіт	<b>Узгоджено</b>  Вих. ППМіц. № 56/245-1 від 15.10.20р.  Вих. ППМ № 01-11-16-926 від 11.10.2020р.  Вих. ІТТФ № 236-10/01-9 від 13.10.20р.
30	Розроблення та виготовлення установки для вимірювання коефіцієнта поглинання сонячного випромінювання As захисним покриттям космічної техніки	Розробка технічного завдання на розроблення та виготовлення установки для вимірювання коефіцієнта поглинання сонячного випромінювання As та установки для вимірювання ефективної теплопровідності теплоізоляційних матеріалів	Грудень 2021р.	Інститут технічної теплофізики  ДП «КБ «Південне»	Технічне завдання	<b>Узгоджено</b>  Вих. ІТТФ № 236-10/01-9 від 13.10.20р.
31	Відпрацювання технології зварювання тертям з перемішуванням елементів бакових конструкцій виробів ракетно космічної техніки	Відпрацювання технології виконання замкнутих та/або кільцевих зварних швів методом зварювання тертям з перемішуванням	Грудень 2021р.	Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля  ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b>  Договір №2858 від 01.09.20р.

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
32	Розробка нового високоміцного алюмінієвого сплаву системи Al-Mg та технології отримання з нього заготовок обичайки Ø 400 мм методом відцентрового лиття	<p>Проведення робіт по розробці нового високоміцного алюмінієвого сплаву системи Al-Mg</p> <p>Проведення робіт по відпрацюванню технології отримання заготовок обичайки Ø400 мм методом відцентрового лиття з високоміцного алюмінієвого сплаву системи Al-Mg</p>	Грудень 2021р.	<p>Фізико-технологічний інститут металів та сплавів</p> <p>ДП «КБ «Південне»</p>	Науково – технічний звіт	<p><b>Узгоджено</b></p> <p>Вих. ФТІМС № 87/519-Д від 08.11.19р.</p>
33	Створення дільниці лазерного зварювання та наплавлення соплових блоків РРД на території ДП «КБ «Південне»	Відпрацювання технології лазерного зварювання та наплавлення на заготовках соплових блоків РРД	Грудень 2021р.	<p>ІЕЗ ім. Є.О. Патона</p> <p>ДП «КБ «Південне»</p>	Науково – технічний звіт	<p><b>Узгоджено</b></p> <p>на засіданні робочої групи</p>
<b>Твердопаливні русійні установки (група 5)</b>						
34	Розробка детонуючих подовжених зарядів маршового двигуна та відсіку корисного навантаження.	Виготовлення дослідних зразків детонуючих подовжених зарядів. Участь у випробуваннях. Коригування документації.	Грудень 2021р.	<p>Науково-інженерний центр «Матеріалообробка вибухом»</p> <p>ІЕЗ ім. Е.О. Патона</p> <p>ДП «КБ «Південне»</p>	Науково – технічний звіт	<p><b>Узгоджено</b></p> <p>на засіданні робочої групи</p>
35	Розробка детонуючих подовжених зарядів системи автоматичного припинення польоту ракети	Розробка документації, виготовлення детонуючих подовжених зарядів. Участь у випробуваннях, коригування документації	Грудень 2021р.	<p>Науково-інженерний центр «Матеріалообробка вибухом»</p> <p>ІЕЗ ім. Е.О. Патона</p> <p>ДП «КБ «Південне»</p>	Науково-технічний звіт	<p><b>Узгоджено</b></p> <p>Технічне завдання</p>



№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
36	Розробка промислових технологій виготовлення анодів	Розробка технологічної частини робочої документації виробництва розчину анодів виробничо експериментального комплексу компонентів твердого ракетного палива	Грудень 2021р	Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського СКТБ ІЗНХ НАНУ ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Технічне завдання
37	Розробка промислових технологій виготовлення дисперсного порошку алюмінію	Розробка технологічної частини робочої документації виробництва порошку алюмінію виробничо експериментального комплексу компонентів твердого ракетного палива	Грудень 2021 р.	Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича ДП «КБ «Південне»	Науково-технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Технічне завдання
<b>Рідинні рушійні установки (група 6)</b>						
38	Визначення розкиду тяги багатодвигунової установки першого ступеня ракети-носія «Циклон-4М» при її запуску	Теоретичне визначення розкиду тяги багатодвигунової установки	Грудень 2021р.	Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ ДП «КБ «Південне»	Науково – технічний звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ІТМ № 57/415-03 від 16.09.20р.
<b>Супутникові системи наукового і спеціального призначення (група 7)</b>						
39	Реалізація проекту «Аерозоль-UA»	Інтеграція корисного навантаження з платформою YuzhSAT та проведення випробувань	Грудень 2021р.	Головна астрономічна обсерваторія ДП «КБ «Південне»	Акти	<b>Узгоджено</b> Вих. ГАО № 79-489/05 від 12.11.2019р.

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
40	Визначення прецизійної рівноточної (за усіма координатами) орієнтації космічного апарату на основі використання кластеру малих астродатчиків. Розробка алгоритмів визначення взаємної орієнтації астродатчиків в умовах польоту	Склад робіт визначається у залежності від обсягів фінансування	Грудень 2021р.	Інститут космічних досліджень ДП «КБ «Південне»	Звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ІКД № 303/06-01/268 від 11.11.2019р.
41	Математичне моделювання роботи керуючих реактивних двигунів малої тяги на екологічно чистих паливах	Розробка методичного забезпечення систем керуючих реактивних двигунів малої тяги на екологічно чистих паливах	Грудень 2021р.	Інститут технічної механіки ДП «КБ «Південне»	Технічна довідка	<b>Узгоджено</b> Вих. ІТМ № 57/599 від 20.11.2020р.
42	Математичне моделювання перехідних процесів в системі живлення маршової реактивної рушійної установки та рідинної реактивної установки керування рухом верхнього ступеня РН «Циклон-4М»	Розрахунковий супровід розробки та випробувань маршової реактивної рушійної установки та рідинної реактивної установки керування рухом верхнього ступеня РН «Циклон-4М»	Грудень 2021р.	Інститут технічної механіки ДП «КБ «Південне»	Звіт	<b>Узгоджено</b> Вих. ІТМ № 57/562-09 від 13.11.2019р.
43	Розробка методик забезпечення стійкості космічних апаратів до впливу космічних випромінювань	Проведення радіаційних випробувань зразків бортової радіоелектронної апаратури космічного апарату YuzhSAT-1	Грудень 2021р.	Інститут електронної фізики ДП «КБ «Південне»	Акти	<b>Узгоджено</b> Вих. ІЕФ № 153/189 від 05.11.19р.

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
<b>Системи керування та системи телевимірювання (група 8)</b>						
44	Розроблення малогабаритних датчиків тиску і температури	Розробка та випробування елементів дослідних зразків малогабаритних швидкодіючих датчиків тиску. Створення інтегральних перетворювачів тиску криогенних рідин та газів для застосування в інформаційно-вимірювальних системах ракетно-космічної техніки.	Грудень 2021р.	Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова  ДП «КБ «Південне»	Науково-дослідний звіт	<b>Узгоджено</b>  на засіданні науково технічної ради
<b>Історія і популяризація діяльності ракетно-космічної галузі (Група 9)</b>						
45	Підготовка та видання книг з космічного права	Підготовка макету та видання Енциклопедії космічного права	Грудень 2021р.	Міжнародний центр космічного права при Інституті держави і права ім. В. М. Корецького  ДП «КБ «Південне»	Енциклопедія космічного права	<b>Узгоджено</b>  Вих. МЦКП № 28-11/д-18 від 28.11.18р.
46	Висвітлення досягнень з космічних досліджень та створення ракетно-космічної техніки	Підготовка публікацій в журналах «Космічна наука і технологія», «Наука і техніка», «Наука і наукознавство» та ін.	Грудень 2021р.	ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М. Доброва»  Головна астрономічна обсерваторія  ДП «КБ «Південне»	Статті в журналах	<b>Узгоджено</b>  на засіданні робочої групи

№	Напрямок досліджень	План робіт на 2021 рік	Строк виконання робіт	Виконавці	Звітні матеріали	Примітки
47	Дослідження з історії ракетно-космічної науки і техніки України	Проведення науково-технічної роботи за темою: «Ракетно-космічна наука і техніка України у світовому та національному вимірі: історичні, науково-технічні, соціально-економічні та військово-політичні аспекти»	Грудень 2021р.	ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М. Доброва»	Текстові матеріали	<b>Узгоджено</b> на засіданні робочої групи
48	Підготовка та видання книг з історії ракетобудування та космонавтиці	Підготовка макету книги «Україна в світовому ракетобудуванні та космонавтиці»	Грудень 2021р.	ДП «КБ «Південне»	Текстові матеріали	<b>Узгоджено</b> на засіданні робочої групи
Друге видання фотоальбому «КБ «Південне». Люди і ракети»		Грудень 2021р.				
Видання книги «Конюхов: «Доля моя – КБ «Південне»»		Грудень 2021р.				
49	Підготовка та видання статті «Життєвий та творчий шлях Генерального директора КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля академіка НАН України Дегтярьова Олександра Вікторовича»	Підготовка та видання статті «Життєвий та творчий шлях Генерального директора КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля академіка НАН України Дегтярьова Олександра Вікторовича»	Грудень 2021р.	ДУ «Інститут досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М. Доброва»  ДП «КБ «Південне»	Текстові матеріали	<b>Узгоджено</b> на засіданні робочої групи



