

состояния системы, возникающего при гидравлических ударах. Полученные результаты могут быть использованы для расчета ресурса и надежности работы трубопровода гидросистемы.

**Список литературы:** 1. *Ремарчук М.П., Федоренко И.М.* Розробка та використання діагностичного комплексу для визначення стану гідросистем мобільних машин в умовах експлуатації // Восточноєвропейський журнал передових технологій. – 2005. – № 4/2 (16). 2. *Зенкевич О.К.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1980. – 420 с. 3. *Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С.* Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. – М., Высшая школа, 1985. – 392 с. 4. *Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.* – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 525 с. 5. *Жовдак В.А., Трубаев А.И.* Собственные колебания и прочность трубопроводов гидросистем // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Динаміка і міцність машин». – 2005. – № 20.

*Поступила в редакцію 30.10.2006.*

УДК 539.3

**О.В.БІРЮКОВ**, канд.техн.наук; **О.Ф.КОВПІК**, канд.фіз.-мат.наук;  
**Є.О.КОРНІЛОВ**, докт.фіз.-мат.наук; **С.Ю.САЄНКО**, канд.техн. наук;  
ІФТТМТ ННЦ «ХФТІ», Харків;  
**О.К.МОРАЧКОВСЬКИЙ**, докт.техн.наук; **О.О.ЗАМУЛА**, НТУ «ХП»

### **АНАЛІЗ МІЦНОСТІ РОЗМЕЖУВАЛЬНОЇ СТІНКИ КАМЕРИ ВИВОДУ ПУЧКІВ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК З ПРИСКОРЮВАЧА В АТМОСФЕРУ**

В роботі розглянуто напружено-деформований стан розмежувальної стінки камери виводу електронних і протонних пучків з прискорювача в атмосферу. Метод розв'язання побудований на базі методу скінченних елементів. Досліджено вплив на міцність геометричної конфігурації стінки, а також спільну дію термосилових напружень.

In article strength-stress state of the boundary wall of the chamber of outlet electronic and proton beams from the accelerator in an atmosphere is considered. The method of the solution is constructed on the basis of finite element method. Influence on strength of a geometrical configuration of a wall, and also a combined effect temperature and load is explored.

**Актуальність теми.** Для радіаційної технології, зокрема, для очищення електронним пучком мікро-біологічно і хімічно забрудненої води, коли необхідно досягти високої продуктивності, доцільним є використання вікон великих розмірів. Як зазначено в роботах [1,2] для вікон, що пропускають пучки середньої потужності доцільно в прискорювальних комплексах використовувати вікна з піровуглецевого матеріалу, або вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу (УУКМ) [3], який широко застосовується в ядерній енергетиці, реакторобудуванні, ракетній техніці. У зв'язку з цим, актуальним є розрахунки з аналізу міцності розмежувальної стінки камери виводу пучків заряджених частинок з прискорювача, в умовах дії атмосферного тиску, напорі води та рі-

зниці температур [1], що надасть обґрунтування щодо вибору конструкції та матеріалу розмежувальної стінки камери прискорювача.

**Постановка проблеми.** В роботі розглянуто напружено-деформований стан розмежувальної стінки камери виводу електронних і протонних пучків з прискорювача в атмосферу, виготовленої з вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу (УУКМ). Цей матеріал має унікальні властивості: високу питому міцність при температурах понад 1000 °С, інертність щодо дії багатьох хімічних середовищ, високу радіаційну стійкість, що можна використати при проектуванні вікон достатньо великих розмірів з товщиною стінки вікна на рівні декількох міліметрів.

Конструкцію камери для обробки води з вікном з УУКМ показано на рис. 1. Камера з випуклим днищем – 2 з'єднана з корпусом прискорювача – 1. Радіальний потік електронів – 3 з прискорювача потрапляє на вікно – 4 з УУКМ. Проходячи скрізь стінку, електрони взаємодіють з потоком води – 5, що подається під тиском у водяну порожнину корпусу. Цей потік води охолоджує зовнішню стінку вікна. Вікно в корпусі утримується в місцях кріплення за допомогою мідних ущільнювачів при щільному приляганні до опорних поверхонь кінцевого корпусу і сферичного днища.

Позрахункові схеми вікон виводу електронів з прискорювача із заданими розмірами показано на рис. 2.

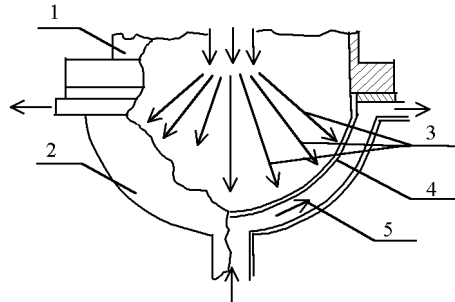


Рисунок 1 – Камера для обробки води електронним пучком прискорювача:  
1 – корпус прискорювача; 2 – камера для обробки води; 3 – пучок електронів;  
4 – вікно виводу електронів з прискорювача; 5 – потік води

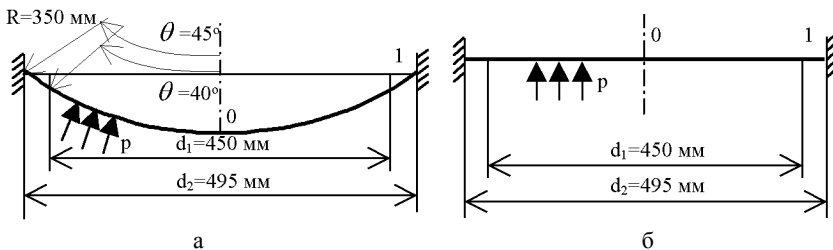


Рисунок 2

Вікно у вигляді сферичного купола (рис. 2, а) має сталу товщину стінки  $h_1 = 3$  мм вздовж робочої частини, яка визначається кутом розгортки потоку - конусом  $2\theta = 80^\circ$  і діаметром  $d_1 = 450$  мм. Шляхом плавного переходу робоча частина з'єднується з опорною товщиною  $h_2 = 15$  мм. Діаметр контуру кріплення стінки вікна в корпусі становить  $d_1 = 495$  мм. Значення матеріальних констант прийнято наступними [3]: модуль пружності  $E = 1,2 \cdot 10^5$  кгс/см<sup>2</sup>, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,19$ ; границя міцності  $\sigma_B = 600$  кгс/см<sup>2</sup>, коефіцієнт термічного розширення  $\alpha = 4 \cdot 10^{-6}$  1/С<sup>0</sup>. Опорні поверхні жорстко закріплені в корпусі. На зовнішню поверхню вікна до місця кріплення в корпусі діє рівномірно розподілений тиск  $p = -2$  кгс/см<sup>2</sup>, що складається з атмосферного тиску і тиску води, що протікає в порожнині охолодження і обробки води. При проходженні потоку електронів скрізь стінку вікна вона нагрівається, а проточна вода її охолоджує. Встановлюється деяка стала температура стінки вище температури опорних поверхонь корпусу. Для оцінки впливу цієї різниці температур на напружено-деформований стан вікна прийнято величину  $\Delta T = 200$  К.

Вікно у вигляді плоскої стінки з тими ж товщинами  $h_1$  і  $h_2$  та з тим же прохідним діаметром  $d_2$  показано на рис. 2, б. Ця стінка охолоджується потоком води, що проходить паралельно до зовнішньої поверхні вікна.

**Аналіз міцності.** Розрахунки напружено-деформованого стану проводилися на базі методу скінченних елементів [4]. Оскільки розмежувальна стінка має вигляд тонкостінної оболонки обертання і деформування відбувається осьосиметрично, то використовувалися одномірні оболонкові кінцеві елементи. За попередніми розрахунками для прийнятної точності виявилось достатнім 90 скінченних елементів. На рис. 3,4,5 наведено дані розрахунків, за якими температурний фактор не враховувався.

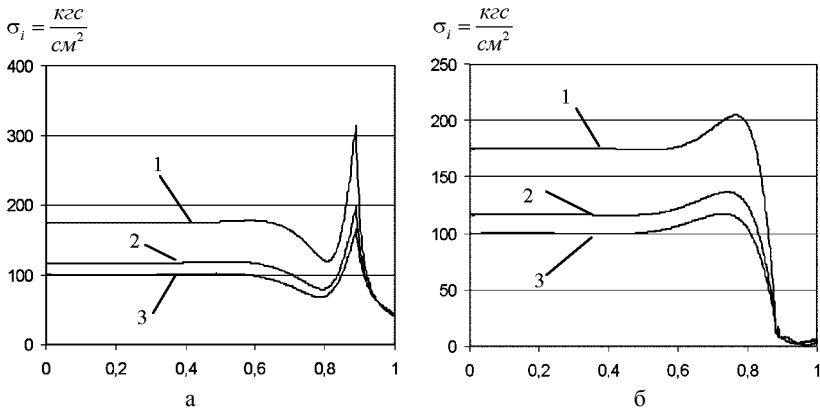


Рисунок 3 – 1:  $h_1 = 2$  мм; 2:  $h_1 = 3$  мм; 3:  $h_1 = 3,5$  мм

На рис. 3, показано розподіл інтенсивності напруження на внутрішній (а) і на зовнішній (б) поверхнях розмежувальної стінки, схему якої подано на рис.

2, а. На рис. 4 показано розподіл інтенсивності напруження на поверхні розмежувальної стінки, схему якої подано на рис. 2, б.

З рис. 3 можна встановити, що навіть за товщини  $h_1 = 2$  мм максимальне значення інтенсивності напруження є вдвічі меншим від границі міцності  $\sigma_B$ . Як це видно з порівняння рис. 3 і рис. 4, оптимальнішим є варіант з використанням розмежувальної стінки сферичного виду.

На рис. 5 показано розподіл по меридіану інтенсивності напруження (лінії 1 на внутрішній поверхні і лінії 2 на зовнішній).

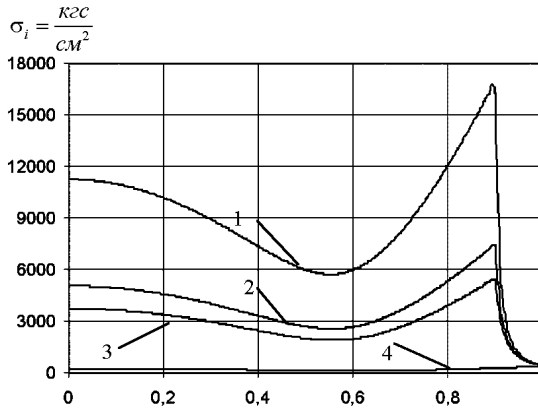


Рисунок 4 – 1:  $h_1 = 2$  мм; 2:  $h_1 = 3$  мм; 3:  $h_1 = 3,5$  мм; 4:  $h_1 = 15$  мм

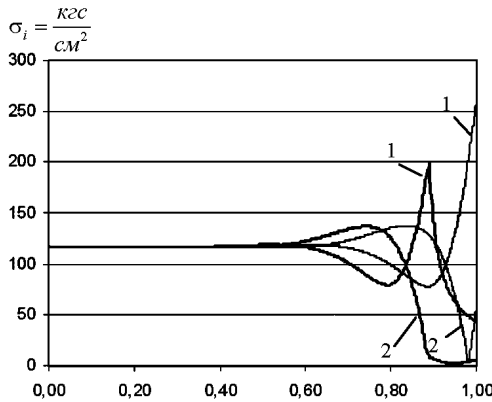


Рисунок 5

На цьому рисунку жирні криві відповідають розрахункові розмежувальної стінки при  $h_1=3$  мм зі стовщеним переходом до жорсткого кріплення в камері, а тонкі лінії – при сталій товщині  $h_1=3$  мм. Порівнюючи графіки на рис. 5, можна дійти висновку, що варіант зі стовщенням зменшує максимальний рівень напружень на 25 % .

Розглянемо данні розрахунку сферичної оболонки (рис. 2, а) товщиною  $h_1 = 3$  мм, зі стовщеним переходом до жорсткого кріплення в камері, що надані на рис. 6.

На рис. 6 показано розподілення інтенсивності напружень на внутрішній (а) і зовнішній (б) поверхнях розмежувальної стінки для різних комбінацій дії температурного навантаження і зовнішнього тиску води. При цьому враховано різницю температур розмежувальної стінки і корпусу камери, що складає  $\Delta T = 200$  К.

Як це видно з рис. 6, має місце взаємодія температурних деформацій та деформацій внаслідок дії зовнішніх сил, так, що за рахунок зовнішнього тиску дія температури компенсується й рівень інтенсивності напружень знижується.

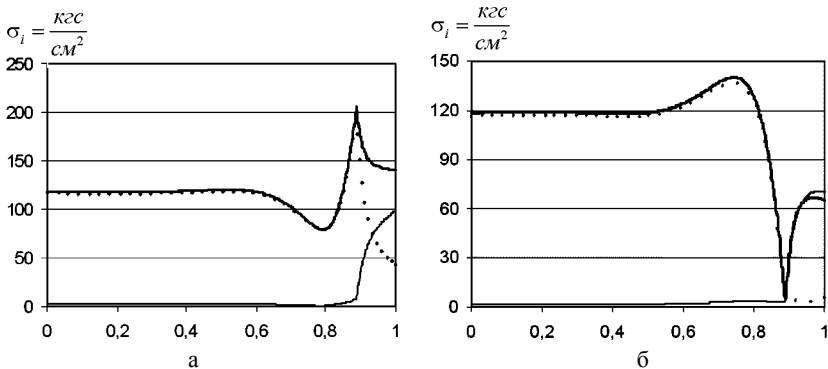


Рисунок 6 –  $\Delta T = 200$  °C;  $p = 0$  кг/см<sup>2</sup>;  $\bullet\bullet\bullet$   $\Delta T = 0$  °C;  $p = -2$  кг/см<sup>2</sup>;  
 $\text{---}$   $\Delta T = 200$  °C;  $p = 0$  кг/см<sup>2</sup>;

**Висновок.** В роботі розглянуто напружено-деформований стан розмежувальної стінки камери виводу електронних і протонних пучків з прискорювача в атмосферу, з аналізу якого випливає, що за даного рівня навантаження і різниці температур рівень інтенсивності напружень для розмежувальної стінки у формі круглї пластини і сферичного куполу різняться на порядки. Отже, слід надати перевагу варіанту розмежувальної стінки у вигляді сферичного куполу.

**Список літератури:** 1. О.Ф. Ковник, Е.А.Корнилов, О.В.Бирюков и др. Углеродные окна вывода электронных и протонных пучков из ускорителей в атмосферу // ВАНТ "Ядерно-физические исследования". – Выпуск 1(42). – Харьков, 2004. – С. 77-79. 2. Неклюдов И.М., Корнилов Е.А., Морачковский О.К., Бирюков О.В. Разработка методики расчета на прочность разграничивающей стенки для окна вывода ускорителей электронов // Физические и компьютерные технологии. Труды 8<sup>й</sup> Международной научно-технической конференции, г. Харьков, 9-10 декабря 2003г. – С. 278-281. 3. Ю.Г. Бушуев, М.И. Персин, В.А.Соколов Углерод-углеродные композитные материалы. Справочник. – М.: Металлургия, 1994. – С. 128. 4. О.О. Замула Урахування геометричної нелінійності у розрахунках на повзучість тонкостінних елементів конструкцій // Вісник НТУ «ХП». Збірка наукових праць. Харків. НТУ «ХП». – 2005. – Вип. 47. – С.77-83.

Надійшла до редакції 01.06.2006.