

#### 4.4. Витікання газу з відсіку через отвір різної конфігурації

Відповідно до розрахункового випадку навантаження ГК ЛА, згідно з вимогами пункту 25.365 (е) АП-25 [58] необхідно проводити газодинамічний розрахунок у разі раптового скидання тиску через отвір, величина якого піддається обчисленню і не перевищує максимальної площі. Форму отвору нормативними документами не обумовлено. Аналіз експериментальних досліджень натурних відсіків літака DC-6 [48] і пасажирський літак середньої протяжності (ПЛСП) (рис. К. 1) у разі раптової розгерметизації свідчить, що витікання повітря з відсіку відбувається через отвір довільної конфігурації. Унаслідок руйнування (розриву) конструкції відсіку утворюється отвір з рваними краями (рваний отвір).

Механізм утворення отвору у відсіку у разі його раптової розгерметизації є загалом випадковий процес, який залежить від багатьох факторів (наприклад, зовнішні і внутрішні, конструктивні, технологічні, властивості матеріалу, статична або динамічна дія на конструкцію отвору в початковий момент або в процесі утворення отвору, зміна площі отвору в часі, утворення отвору унаслідок механічної дії або надлишкового тиску газу у відсіку). Встановлення основних закономірностей досліджуваного явища являє собою одне з найскладніших завдань [209, 222]. Одним із факторів, який впливає на течію газу з відсіку, є форма отвору. Залежно від форми отвору і способу його утворення виділимо кілька характерних типів отворів: круглий, щілину, «корок», «рваний». У процесі раптової розгерметизації відсіку може відбуватися витікання газу через отвір складної конфігурації. У такому разі як модель може бути використане поєднання вище названих типів отворів.

Методика проведення досліджень включала визначення основних закономірностей аероакустичних характеристик рухомого газу. Випробування було проведено на стенді відповідно до рис. Ж.1 – Ж.4. На виході газу з відсіку 1 в атмосферу по всьому перетину каналу 1 встановлено послідовно мембрану і перегородку (рис. Ж.4). У перегородці зроблено отвір заданої конфігурації. Мембрана забезпечує герметичність відсіку 1. Канали 2, 3 і 4 відсутні. Унаслідок досягнення необхідного перепаду тиску газу між відсіком і атмосферою мембрана

розривається по всьому перетину отвору і відбувається витікання газу з відсіку через отвір з досліджуваною конфігурацією і площею. Унаслідок розриву мембрани відбувається раптова зміна параметрів газу і відтак проводять вимірювання тиску газу у відсіку 1 в часі і РЗТ на виході з відсіку. Аналіз спектру РЗТ дає змогу визначити структуру звукового поля, створюваного рухомим газом за умови раптової розгерметизації відсіку.

#### 4.4.1. Витікання газу з відсіку через круглий отвір

У центральній частині перегородки виконано круглий отвір площею  $F_0$  з гострими кромками. Відносна площа отвору становить  $F_{\text{від}} = F_0/F$ , де  $F$  – площа перетину каналу (відсіку). За результатами випробувань відсіку визначаємо спектр пульсацій тиску газу. Методика обробки такого спектру включала широко вживані цифрові фільтри Баттерворта, Чебишева і Бесселя [233]. Було здійснено числові дослідження зміни тиску газу в відсіку у разі раптової розгерметизації з  $F_{\text{відн}} = 1$ . У процесі досліджень у всьому діапазоні зміни параметрів газу у відсіку було визначено параметри фільтру (смуга пропускання і ступінь фільтра). Для частотного аналізу аеродинамічного шуму використано універсальний реєструвальний аналізатор віброакустичних сигналів “SPECTRAN” розробки АНТК імені О. К. Антонова [279]. Частота опитування датчиків тиску і температури становила 35 кГц. За умови підвищення частоти опитування датчиків до 60 кГц оцінка вимірюваних параметрів істотно не змінювалася.

Для спектрального аналізу шумів під час акустичних вимірювань використано фільтри електронні октавні й третьоктавні відповідно до [342]. Переважні ряди частот відповідали [336]. Проведено аналіз спектрів пульсацій тиску із застосуванням фільтрів із смугою пропускання від  $\Delta f = (0 \dots 50)$  Гц до  $\Delta f = (0 \dots 1000)$  Гц. За результатами застосування фільтра визначено дисперсію досліджуваного процесу:  $\sigma^2 = Y = (Y_{\text{ф}} - Y_{\text{б}})/N$ , де  $Y_{\text{ф}}$  – значення тиску газу у відсіку із застосуванням фільтра;  $Y_{\text{б}}$  – значення тиску газу у відсіку за результатами вимірювань на датчику тиску;  $N$  – кількість дослідів. Величина дисперсії зі збільшенням частоти пропускання

фільтра монотонно зменшується за експонентою і для фільтра Чебишева зі смугою пропускання фільтра  $\Delta f = (0 \dots 50)$  Гц становить  $Y=0,865 \times 10^{10}$  Па<sup>2</sup>, а зі смугою пропускання  $\Delta f = (0 \dots 1000)$  Гц –  $Y=0,0197 \times 10^{10}$  Па<sup>2</sup>. Мінімальне значення дисперсії отримано для фільтра Бесселя з  $\Delta f = (0 \dots 50)$  Гц, яке становить  $Y=0,375 \times 10^{10}$  Па<sup>2</sup>, а з  $\Delta f = (0 \dots 1000)$  Гц –  $Y=0,00528 \times 10^{10}$  Па<sup>2</sup>. Значну зміну дисперсії отримано для досліджуваних фільтрів до частоти пропускання  $\Delta f = (0 \dots 400)$  Гц. Для фільтра Чебишева в цій області частот дисперсія зменшується в  $\sim 15$  разів. Для фільтрів Баттерворта, Чебишева і Бесселя збільшення частоти пропускання фільтра з  $\Delta f = (0 \dots 400)$  Гц дисперсія монотонно зменшується в  $\sim 4$  рази і, можна вважати, змінюється за лінійним законом. Результати проведених досліджень моделей наведено в роботах [261, 264]. Мінімальну розбіжність між експериментом і моделлю отримано за умови використання фільтрів Баттерворта, Чебишева і Бесселя зі ступенем фільтра 1 (рис. 4.8). Оцінки з застосуванням фільтра Бесселя мають стійку лінійну залежність, що вказує про переваги його в порівнянні з фільтрами Баттерворта і Чебишева. Максимальну дисперсію і хвилеподібну зміну дисперсії від ступеня фільтра мали оцінки у разі використанні фільтра Чебишева. Ступінь фільтра впливає на зміщення оцінок зміни тиску газу у відсіку. За умови зміни ступеня фільтра мінімальне значення дисперсії і усталені оцінки має модель із застосуванням фільтра Бесселя. Отримана модель визначення параметрів газу у відсіку із застосуванням фільтра зі ступенем 1 відображає характер протікання процесу, описує зміну тиску газу у відсіку з достатньою для практики точністю і може бути застосована для аналізу процесів у разі раптової розгерметизації відсіку.

Витікання газу з відсіку через круглий отвір у разі раптової розгерметизації супроводжується утворенням аеродинамічного шуму. Для встановлення основних закономірностей досліджуваного газодинамічного процесу і пульсацій звукового тиску проведемо аналіз спектрів шуму (рис. Ж. 5 – Ж. 8). Проведемо аналіз впливу початкового тиску газу у відсіку і відносної площі отвору, через яке відбувається витікання газу з відсіку в атмосферу, на зміну спектра шуму.

Унаслідок збільшення відношення тиску газу з докритичного до закритичного для  $F_{\text{від}} = 0,036$  відбувається зміна і перерозподіл спектра шуму з області високих

частот в область низьких частот (рис. Ж.5). Максимального сумарного рівня звукового тиску (СРЗТ) отримано за  $P_{\text{над}} = 0,57 \times 10^5$  Па, він становить  $L_{\text{сум}} = 122,8$  дБ. Мінімальне значення СРЗТ  $L_{\text{сум}} = 115,9$  дБ досягнуто за  $P_{\text{над}} = 1,28 \times 10^5$  Па. Переважний внесок у загальний рівень шуму вносять коливання газу в області частот понад (250 ... 500) Гц. Мінімальний РЗТ ( $L = 80,6$  дБ) отримано на частоті 16 Гц, а максимальний ( $L = 118,5$  дБ) – на частоті 400 Гц. Зі збільшенням

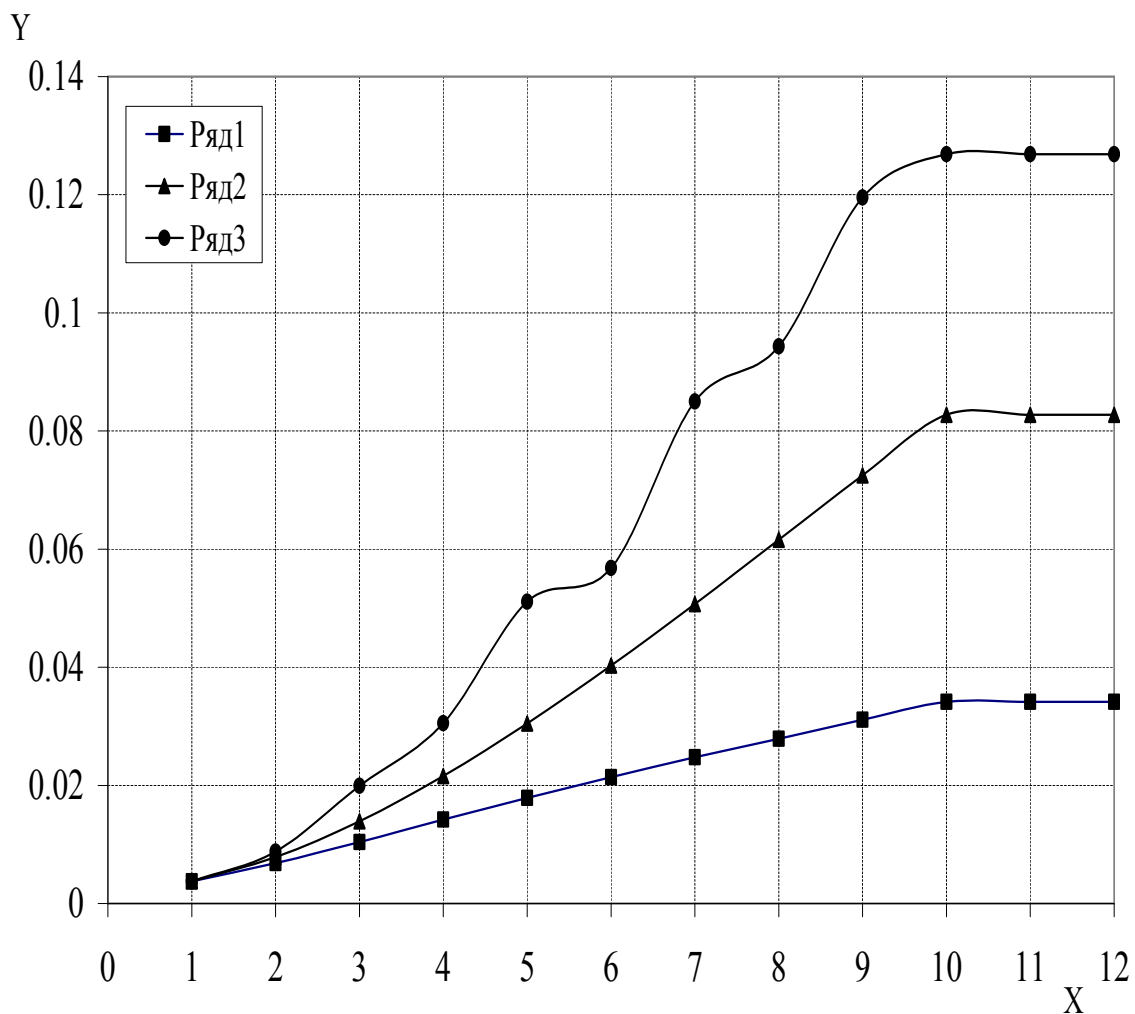


Рисунок 4.8. Залежність дисперсії ( $Y \times 10^{10}$ , Па<sup>2</sup>) від ступеня фільтра ( $X$ ) зі смугою пропускання фільтра  $\Delta f = (0 \dots 400)$  Гц для різних типів фільтра:

Ряд 1 – фільтр Бесселя; Ряд 2 – фільтр Баттерворта; Ряд 3 – фільтр Чебишева

початкового тиску газу у відсіку до  $P_{\text{над}} = 3,06 \times 10^5$  Па відбувається збільшення рівня шуму в області частот, нижчих за 250 Гц. Сумарний РЗТ становить  $L_{\text{сум}} = 121,8$  дБ. Збільшення початкового тиску газу у відсіку з  $P_{\text{над}} = 0,57 \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} =$

$3,06 \times 10^5$  Па призводить до збільшення РЗТ на частотах, нижчих за 125 Гц на  $\Delta L = 32$  дБ, а в області частот понад 250 Гц РЗТ зменшується на  $\Delta L = 3,6$  дБ. За умови закритичного відношення тисків газу у відсіку збільшення початкового тиску газу відбувається збільшення РЗТ у всьому діапазоні частот, яке становить в області частот, нижчих за 250 Гц  $\Delta L = (2 \dots 11)$  дБ, а в області частот понад 250 Гц  $\Delta L = (8,2 \dots 13,7)$  дБ.

За умови збільшення відносного отвору до  $F_{\text{від}} = 0,305$  спостерігається неперервна зміна РЗТ в залежності від початкового тиску газу у відсіку (Рис. Ж. 6). За умови збільшення початкового тиску газу у відсіку від  $P_{\text{над}} = 0,096 \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = 1,99 \times 10^5$  Па відбувається збільшення РЗТ в області низьких частот на  $\Delta L = (24 \dots 45,9)$  дБ, а в області середніх і високих частот (понад 100 Гц) на  $\Delta L = (10,2 \dots 20,1)$  дБ. Сумарний РЗТ збільшується з  $L_{\text{сум}} = 95,8$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 122,1$  дБ. Істотна зміна спектра шуму відбувається за критичного відношення тиску газу, що особливо проявляється в області низьких і середніх частот.

Для  $F_{\text{від}} = 0,497$  переважний внесок у загальний рівень шуму належить складовим у області низьких частот (рис. Ж.7). За умови закритичних відношень тисків газу у відсіку в міру збільшення частоти пульсацій газу відзначається тенденція до зменшення РЗТ. У разі збільшення початкового тиску газу у відсіку з  $P_{\text{над}} = 0,33 \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = 2,3 \times 10^5$  Па відбувається збільшення РЗТ в області низьких частот на  $\Delta L = (17,9 \dots 35,3)$  дБ, а в області середніх і високих частот на  $\Delta L = (13,5 \dots 25,2)$  дБ. СРЗТ збільшується з  $L_{\text{сум}} = 105,3$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 126,04$  дБ. Для  $F_{\text{від}} = 1$  (рис. Ж.8) пульсації тиску газу на частотах понад 31,5 Гц мають широкосмуговий спектр. За початкового тиску газу у відсіку  $P_{\text{над}} = 0,27 \times 10^5$  Па в області низьких частот РЗТ змінюється на  $\Delta L = 53$  дБ. Зі збільшенням тиску до  $P_{\text{над}} = 2,78 \times 10^5$  Па зміна пульсацій звукового тиску сягає значень  $\Delta L = 42,5$  дБ. Таким чином, за малих початкових тисків газу у відсіку зміна газодинамічних процесів супроводжується значно більшим діапазоном зміни пульсацій звукового тиску. Збільшення початкового тиску газу у відсіку з  $P_{\text{над}} = 0,27 \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = 2,78 \times 10^5$  Па призводить до підвищення РЗТ в області низьких частот на  $\Delta L = (9,3 \dots$

34,1) дБ, а в області середніх і високих частот на  $\Delta L = (14,9 \dots 23,9)$  дБ. СРЗТ збільшується з  $L_{\text{сум}} = 110,7$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 128$  дБ.

На підставі аналізу спектрів шуму на виході з відсіку за умови розгерметизації відсіку з різною площею круглого отвору можна зробити висновок, що унаслідок розгерметизації відсіку і раптової зміни тиску газу у відсіку утворюються пульсації звукового тиску в широкому діапазоні частот. Для відносної площі круглого отвору  $F_{\text{від}} = (0,036 \dots 1)$  і початкового тиску газу у відсіку  $P_{\text{над}} = (0,096 \dots 3,06) \times 10^5$  Па СРЗТ змінюється в діапазоні  $\Delta L_{\text{сум}} = (95,8 \dots 128)$  дБ. Зміна РЗТ в області низьких частот становить  $\Delta L = (2 \dots 45,9)$  дБ, а в області середніх і високих частот –  $\Delta L = (3,6 \dots 25,2)$  дБ.

Аналіз залежності зміни тиску газу в часі свідчить, що максимальна швидкість зміни тиску газу у відсіку спостерігається в початковий момент розгерметизації відсіку, а після завершення процесу витікання газу з відсіку швидкість зміни тиску газу зменшується до нуля. У початковий момент розгерметизації швидкість зміни тиску багато в чому визначає характер течії газу з відсіку, максимальний вплив газу на людину, тривалість вирівнювання тиску газу у відсіку, з якого відбувається витікання газу, до тиску газу у відсіку (атмосфери).

Проведемо дослідження впливу широко використовуваних на практиці факторів, які впливають на зміну параметрів у відсіку, особливо в початковий момент розгерметизації відсіку. На перебіг процесу під час раптової розгерметизації відсіку впливає початковий тиск газу у відсіку, відносна площа вихідного отвору ( $F_{\text{від}}$ ) і конструктивне виконання вихідного отвору. Проведемо порівняльну оцінку впливу цих факторів на зміну параметрів повітря у відсіку при витіканні газу через різні варіанти виконання вихідного пристрою.

Для круглого отвору з  $F_{\text{від}} = 0,036$  у разі збільшення початкового надлишкового тиску газу у відсіку відбувається збільшення швидкості зміни тиску газу у відсіку з  $dP/d\tau = -38,118 \times 10^4$  Па/с при  $P_{\text{над}} = 0,572 \times 10^5$  Па  $dP/d\tau = -187,59 \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = 3,046 \times 10^5$  Па (рис. 4.9). Максимальна швидкість зниження тиску спостерігається протягом  $\tau = (0,0099 \dots 0,0143)$  с. Швидкість зміни тиску газу у відсіку в початковий момент розгерметизації описано з достатньою для практики

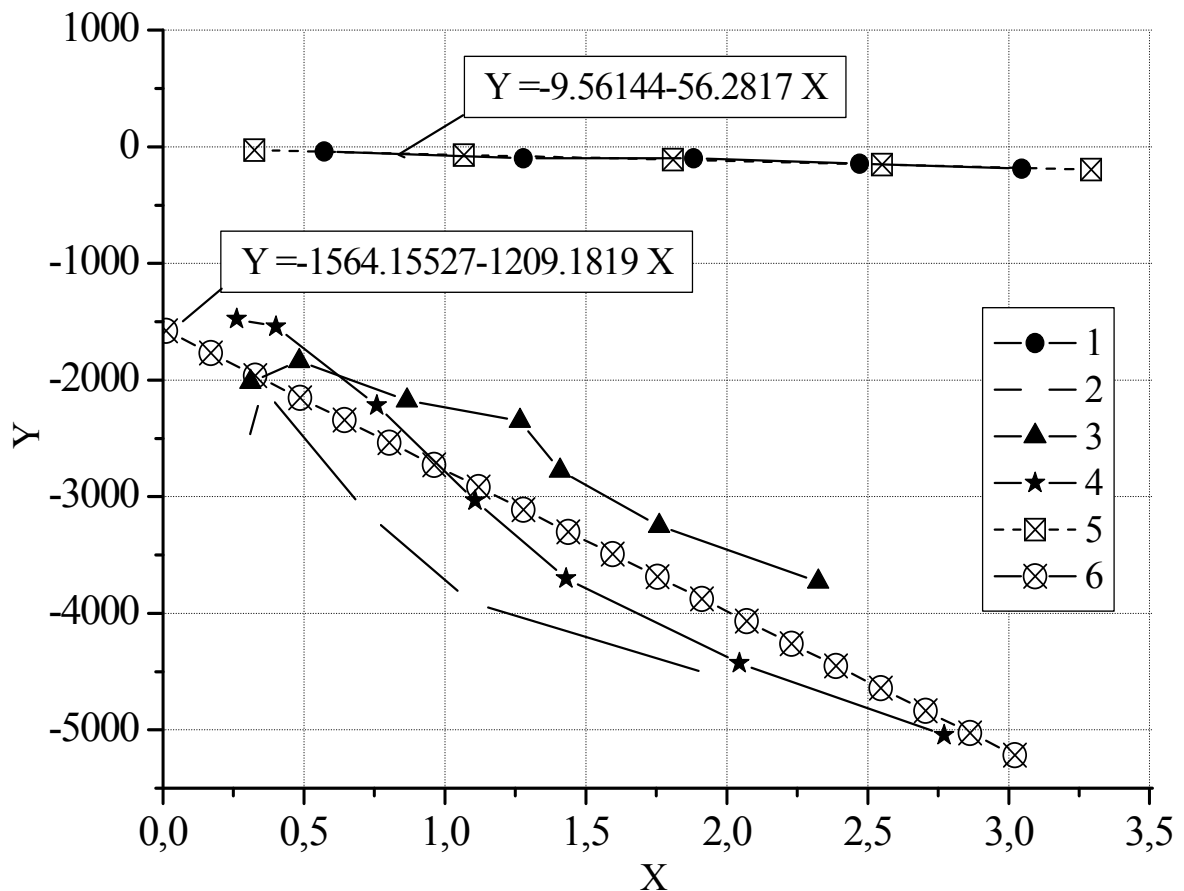


Рисунок 4.9. Залежність початкової швидкості зміни тиску газу у відсіку ( $Y \times 10^4$ , Па/с) від початкового надлишкового тиску ( $X \times 10^5$ , Па) за різних варіантів виконання круглого отвору: 1 –  $F_{\text{від}} = 0,036$ ; 2 –  $F_{\text{від}} = 0,305$ ; 3 –  $F_{\text{від}} = 0,497$ ; 4 –  $F_{\text{від}} = 1$ ; 5 – модель  $Y = -9,56144 - 56,2817 X$ ; 6 – модель  $Y = -1564,15527 - 1209,1819 X$

точністю лінійною залежністю (рис. 4.9, крива 5). Зі збільшенням відносної площі отвору відбувається нерівномірне підвищення швидкості зниження тиску газу у відсіку внаслідок раптової розгерметизації. Для  $F_{\text{від}} = 0,305$  отримано максимальне зниження тиску газу у відсіку зі швидкістю  $dP/d\tau = -2071,84 \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = 0,35475 \times 10^5$  Па,  $dP/d\tau = -4536,29032 \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = 1,95986 \times 10^5$  Па протягом  $\tau = (0,0011 \dots 0,00165)$  с (крива 2). Подальше підвищення відносної площі отвору до  $F_{\text{від}} = 0,497$  призводить до зміни швидкості тиску газу у відсіку з  $dP/d\tau = -2017,09 \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = 0,31099 \times 10^5$  Па до  $dP/d\tau = -3729,3 \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = 2,3246 \times 10^5$  Па протягою  $\tau = (0,0011 \dots 0,0044)$  с (крива 3). Подальше збільшення

відносної площі отвору до  $F_{\text{відн}} = 1$  призводить до зменшення швидкості зміни тиску газу у відсіку  $dP/d\tau = -(1477,65 \dots 1962,067) \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} < 0,63 \times 10^5$  Па. В області початкових тисків у відсіку  $P_{\text{над}} > 0,63 \times 10^5$  Па відбувається збільшення падіння тиску газу. Швидкість зміни тиску газу у відсіку змінюється від  $dP/d\tau = -2218,12 \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = 0,75801 \times 10^5$  Па до  $dP/d\tau = -5044,64 \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = 2,77094 \times 10^5$  Па. Для досліджених відносних площ отвори  $F_{\text{від}} = 0,305$  і  $F_{\text{відн}} = 0,497$ ,  $P_{\text{над}} \leq 0,48375 \times 10^5$  Па за умови підвищення тиску газу у відсіку відбувається зменшення швидкості зміни тиску газу. Аналіз зміни тиску газу у відсіку свідчить, що для відносної площі отвору в діапазоні  $F_{\text{від}} = (0,305 \dots 1)$  у разі збільшення початкового тиску газу у відсіку тиск газу зменшується уздовж прямої лінії (поз. б). Верхня межа швидкості зміни тиску газу у відсіку змінюється в діапазоні  $dP/d\tau = -(1477,65 \dots 3729,3) \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = (0,206 \dots 2,3246) \times 10^5$  Па, нижня межа –  $dP/d\tau = -(2615,18 \dots 5044,64) \times 10^4$  Па/с  $dP/d\tau = -(2615,18 \dots 5044,64) \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = (0,29025 \dots 2,7709) \times 10^5$  Па.

Якщо використовувати лінійні моделі швидкості зміни тиску газу у відсіку щодо початкового тиску газу у відсіку, то внутрішня область між лініями (крива 5 і б) визначає область швидкості зміни тиску газу у відсіку в залежності від початкового надлишкового тиску газу у відсіку за  $F_{\text{відн}} = (0,305 \dots 1)$ . Зі збільшенням початкового тиску газу ця область розширюється. На підставі проведених досліджень раптової розгерметизації відсіку встановлено, що для відносної площі отвору  $F_{\text{від}} = (0,036 \dots 1)$  тиск газу в початковий момент розгерметизації (протягом  $\tau = (0,0099 \dots 0,044)$  с) змінюється зі швидкістю в діапазоні від  $dP/d\tau = -(38,118 \dots 187,59) \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = (0,572 \dots 3,046) \times 10^5$  Па до  $dP/d\tau = -(2615,18 \dots 5044,64) \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = (0,29025 \dots 2,7709) \times 10^5$  Па.

#### 4.4.2. Витікання газу з відсіку через щілину

Проведено дослідження для отвору у вигляді щілини з відотною площею  $F_{\text{від}} = 0,037$ . Випробування проведені з надмірним початковим тиском у відсіку в діапазоні  $P_{\text{над}} = (0,93 \dots 1,9) \times 10^5$  Па. Для отвору, виконаного у вигляді щілини,



визначена швидкість зміни тиску повітря у разі розгерметизації відсіку в початковий момент протягом  $\tau = (0,0022 \dots 0,00385) \text{ с}$  (рис. 4.10). За умови збільшення початкового тиску газу у відсіку в діапазоні  $P_{\text{над}} = (0,99 \dots 1,9234) \times 10^5 \text{ Па}$  відбувається збільшення швидкості зміни тиску у відсіку  $dP/d\tau = -2285,16 \times 10^4 \text{ Па/с}$  до  $dP/d\tau = -4556,06 \times 10^4 \text{ Па/с}$ . Зміну швидкості у відсіку описують лінійною моделлю (крива 3). Отримано максимальні відхилення експериментальних даних ( $-479,5 \times 10^4 \text{ Па/с}$ ) від лінійної моделі за  $P_{\text{над}} \approx 1,0 \times 10^5 \text{ Па}$ . Кут нахилу лінійної моделі до осі X свідчить, що витікання газу через щілину в порівнянні з рваним і круглим отворами має максимальну швидкість падіння тиску газу у разі збільшення початкового тиску у відсіку.

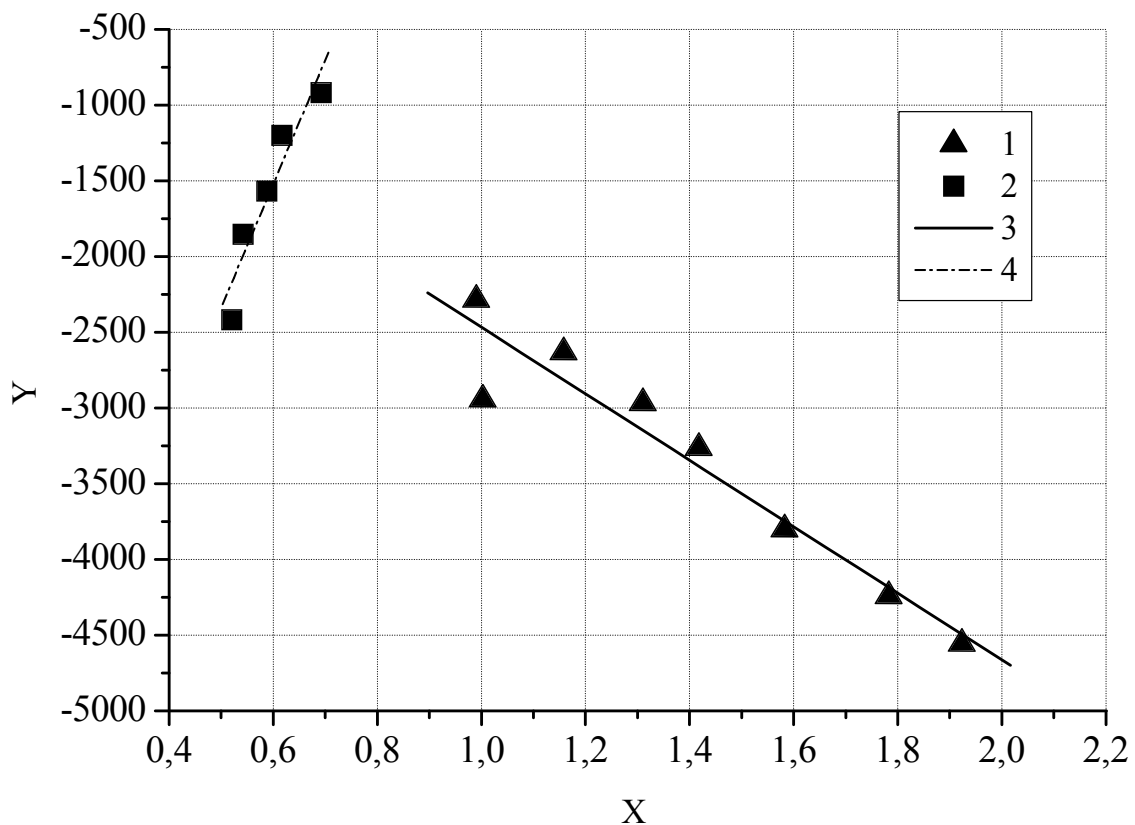


Рисунок 4.10. Залежність початкової швидкості зміни тиску газу у відсіку ( $Y \times 10^4 \text{ Па/с}$ ) від початкового надлишкового тиску ( $X \times 10^5 \text{ Па}$ ) за різних варіантів виконання отвору:

1 –  $F_{\text{від}} = 0,0365$ , щілина; 2 –  $F_{\text{від}} = 0,036$ , «корок»; 3 — модель для отвору у вигляді щілини,  $Y = -270,68437 - 2195,89061 X$ ; 4 — модель отвору, утвореного за ефектом «корок»,  $Y = -6417,22203 + 8159,98625 X$

Аналіз спектру шуму на виході з відсіку (рис. 4.11) свідчить, що максимальні зміни РЗТ мають місце в області низьких частот у діапазоні (8 ... 31,5) Гц. У разі підвищення частоти пульсацій тиску з 8 Гц до 31,5 Гц відбувається збільшення РЗТ з  $L = 76$  дБ до  $L = 112,9$  дБ для  $P_{\text{над}} = 0,93 \times 10^5$  Па, а для  $P_{\text{над}} = 1,9 \times 10^5$  Па з  $L = 84,4$  дБ до  $L = 127$  дБ. Найбільший внесок у загальний рівень шуму в октавних смугах частот належить пульсаціям звукового тиску на частотах (31,5 ... 63) Гц ( $L = 127$  дБ за  $P_{\text{над}} = 1,9 \times 10^5$  Па). У разі підвищення частоти коливань понад (31,5 ... 63) Гц РЗТ зменшуються.

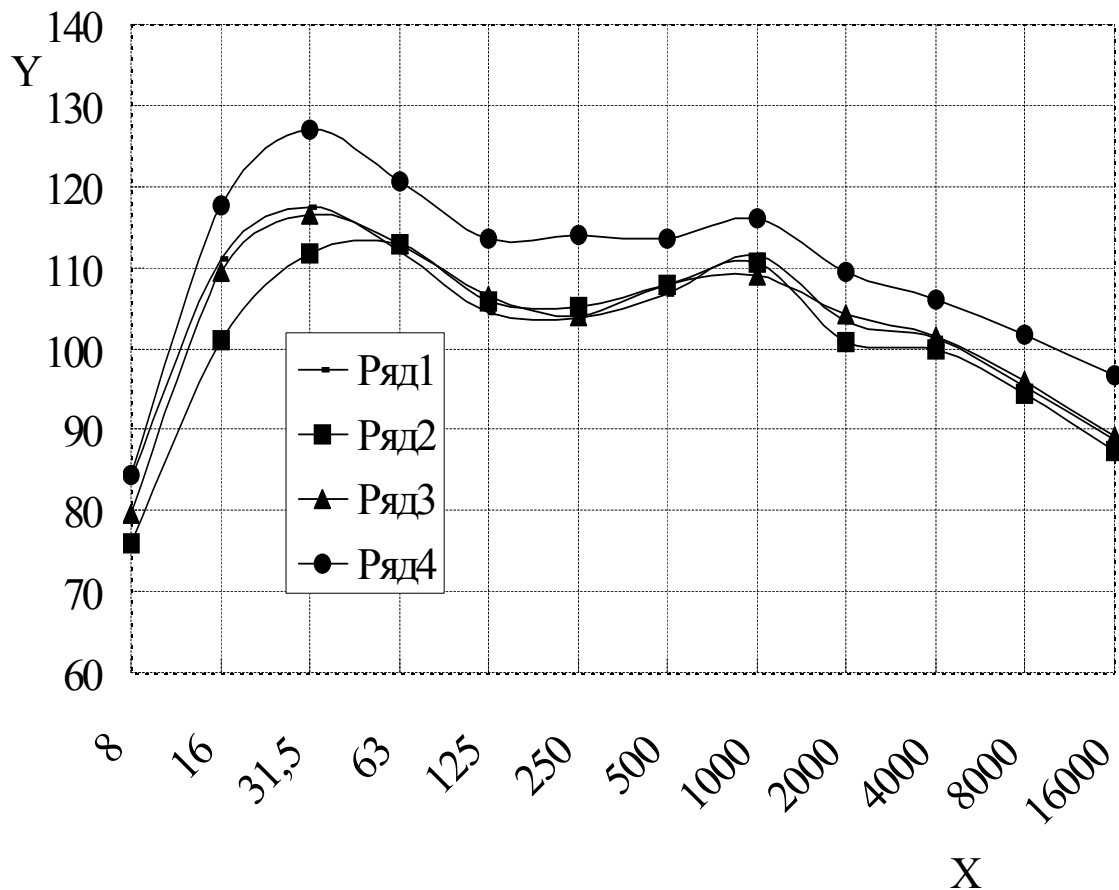


Рисунок 4.11. РЗТ (Y, дБ) в октавних смугах частот (X, Гц) для отвору у вигляді щілини з  $F_{\text{від}} = 0,037$  у разі розгерметизації відсіку з різними початковими тисками газу у відсіку: Ряд 1 –  $P_{\text{над}} = 0,93 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 120,48$  дБ; Ряд 2 –  $P_{\text{над}} = 1,02 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 117,95$  дБ; Ряд 3 –  $P_{\text{над}} = 1,16 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 120$  дБ; Ряд 4 –  $P_{\text{над}} = 1,9 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 129,03$  дБ

За умови підвищення початкового тиску у відсіку з  $P_{\text{над}} = 0,93 \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = 1,9 \times 10^5$  Па відбувається збільшення РЗТ на частотах (8 ... 125) Гц на  $\Delta L = (7,7 \dots 15,4)$  дБ, на частотах (125 ... 1000) Гц на  $\Delta L = (7,7 \dots 7)$  дБ, на частотах понад 1000 Гц на  $\Delta L = (7 \dots 9,3)$  дБ. Збільшення початкового тиску у відсіку супроводжується безперервним підвищенням СРЗТ з  $L_{\text{сум}} = 118$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 129$  дБ.

#### 4.4.3. Витікання газу з відсіку через отвір, утворений за ефектом «корок»

Для підтвердження відповідності вимогам пункту 25.365 (f) АП-25 [58] необхідно розглядати випадок ненавмисного відкриття дверей. Для цього випадку розглянуто витікання газу з відсіку через отвір, утворений за ефектом «корок». Модель такого пристрою включає отвір, герметично закритий пружним корком з боку відсіку з надлишковим тиском повітря. Під час експлуатації ЛА виникають випадки несанкціонованого відкриття дверей, люків. Течію газу для цих пристроїв може бути представлено у вигляді моделі отвору, утвореного за ефектом «корок». Пристрій містить отвір, герметично закритий з боку відсіку пружним корком. За умови досягнення необхідного перепаду тиску між відсіком і атмосферою корок під впливом додатного надлишкового тиску газу у відсіку виривається з отвору. Відбувається раптова зміна тиску з подальшим вирівнюванням тиску газу у відсіку з атмосферою. Маса корка мала і не має істотного впливу на параметри рухомого потоку. Випробування проведено для отвору з  $F_{\text{від}} = 0,036$  (рис. 4.12). Через те, що для цього типу отвору зафіксовані випадки розгерметизації на ЛА відбуваються за відносно низького тиску, то випробування проведено за надлишкових тисків у діапазоні  $P_{\text{над}} = (0,52 \dots 0,7) \times 10^5$  Па.

Для отвору типу «корок» визначено швидкість зміни тиску газу у відсіку протягом  $\tau = (0,001 \dots 0,00055)$  с після початку розгерметизації (рис. 4.10). Зі збільшенням початкового тиску газу у відсіку з  $P_{\text{над}} = 0,5199 \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} \approx 0,692 \times 10^5$  Па швидкість зміни тиску газу зменшується з  $dP/d\tau = -2415,89 \times 10^4$  Па/с до  $dP/d\tau = -915,95 \times 10^4$  Па/с. Аналогічний характер зміни тиску газу у відсіку отримано для круглого отвору в діапазоні тисків газу

$P_{\text{над}}=(0,311\dots0,484)\times 10^5$  Па, для рваного отвору в діапазоні тисків  $P_{\text{над}}=(0,939\dots1,365)\times 10^5$  Па).

В області досліджених тисків швидкість зміни тиску у відсіку описано лінійною моделлю (рис. 4.10, крива 4). Максимальне значення швидкості отримано  $dP/d\tau = -2415,89\times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}}=0,5199\times 10^5$  Па. Таким чином, для отвору, утвореного за ефектом «корок», зменшення початкового тиску у відсіку може призводити до підвищення швидкості спорожнення відсіку, збільшення перепаду тиску між суміжними відсіками і до збільшення силової дії газу на конструкцію відсіку. Максимальну зміну пульсацій тиску отримано в діапазоні низьких частот в (8 ... 31,5) Гц. За  $P_{\text{над}} = 0,56\times 10^5$  Па РЗТ збільшуються з  $L = 54,9$  дБ до  $L = 85,5$  дБ, а за  $P_{\text{над}} = 0,7\times 10^5$  Па – з  $L = 64,4$  дБ до  $L = 93$  дБ.

За умови підвищення початкового тиску у відсіку з  $P_{\text{над}} = 0,56\times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = 0,7\times 10^5$  Па збільшення РЗТ на частотах (8 ... 125) Гц становить  $\Delta L = (9,5 \dots 4,3)$  дБ, на частотах (125 ... 1000) Гц –  $\Delta L = (4,3 \dots 8,1)$  дБ, на частотах понад 1000 Гц –  $\Delta L = (5,6 \dots 9,4)$  дБ. Мінімальний СРЗТ  $L_{\text{сум}} = 96,8$  дБ отримано за  $P_{\text{над}} = 0,56\times 10^5$  Па, а максимальний СРЗТ  $L_{\text{сум}} = 102,6$  дБ – за  $P_{\text{над}} = 0,59\times 10^5$  Па. В області частот понад 63 Гц відзначено підвищення РЗТ за умови зменшення початкового тиску у відсіку. Порівняльний аналіз спектрів рис. 4.11 і рис. 4.12 показує, що для отворів, виконаних у вигляді щілини і «корок», зберігається загальний характер зміни пульсацій тиску до частоти  $\sim 250$  Гц. У разі витікання газу через щілину на частотах понад 250 Гц РЗТ знижується, а у разі витікання через отвір, утворений за ефектом «корок», РЗТ підвищується. Для отвору типу «корок» переважний внесок у загальний рівень шуму належить пульсаціям звукового тиску на частотах понад (500 ... 1000) Гц, а для отвору типу «щілина» – в області частот (31,5 ... 63) Гц.

#### 4.4.4. Витікання газу з відсіку через «рваний» отвір

Експлуатація ЛА свідчить, що наявні випадки раптової розгерметизації часто супроводжуються витіканням газу з відсіку через отвір довільної конфігурації. Такий отвір може мати найрізноманітнішу конфігурацію і часто утворюється

внаслідок руйнування конструкції ЛА, обшивки фюзеляжу. Отвір містить елементи конструкції, які виступають у потік, рвані частини конструкції, пружні і нерухомі елементи конструкції. Крім того, в залежності від властивостей конструкції отвір у процесі витікання газу може змінювати форму і прохідну площу. Отвір з такими параметрами називатимемо «рваним».

Випробування «рваного» отвору проведено аналогічно з випробуваннями круглого отвору. Для «рваного» отвору здійснено аналіз швидкості зміни тиску газу в початковий момент розгерметизації відсіку з відносною площею отвору в діапазоні  $F_{\text{від}} = (0,036 \dots 0,486)$  (рис. К.2 – К.6) за зміни початкового тиску газу у відсіку в діапазоні  $P_{\text{над}} = (0,257 \dots 3,057) \times 10^5$  (рис. 4.12). Для  $F_{\text{від}} = 0,036$  у разі збільшення початкового тиску газу у відсіку з  $P_{\text{над}} = 0,536339 \times 10^5$  Па швидкість

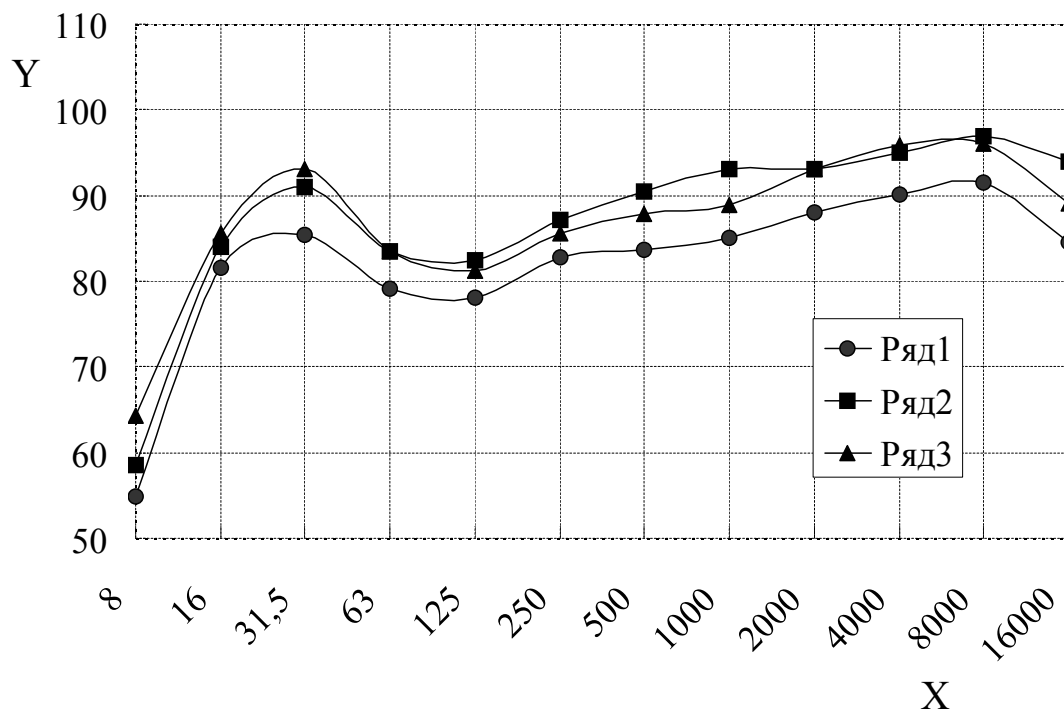


Рисунок 4.12. РЗТ (Y, дБ) в октавних смугах частот (X, Гц) для отвору типу «корок» з  $F_{\text{від}} = 0,036$  унаслідок розгерметизації відсіку з різними початковими тисками газу в відсіку: Ряд 1 –  $P_{\text{над}} = 0,56 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 96,81$  дБ; Ряд 2 –  $P_{\text{над}} = 0,59 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 102,60$  дБ; Ряд 3 –  $P_{\text{над}} = 0,7 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 101,80$  дБ

зміни тиску газу у відсіку збільшується з  $dP/d\tau = -1616,93548 \times 10^4$  Па/с і досягає максимального значення  $dP/d\tau = -3612,90323 \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = 1,12444 \times 10^5$  Па.

Подальше підвищення початкового тиску газу у відсіку призводить до зменшення швидкості зміни тиску газу у відсіку і за  $P_{\text{над}} = 2,7632 \times 10^5$  Па становить  $dP/d\tau = -2908,3636 \times 10^4$  Па/с. Збільшення відносної площі отвору до  $F_{\text{від}} = 0,0948$  зменшує швидкість зміни тиску газу у відсіку у всьому діапазоні досліджених початкових тисків газу у відсіку. У діапазоні початкових тисків газу у відсіку  $P_{\text{над}} = (0,257385621 \dots 0,299798) \times 10^5$  Па при збільшенні початкового тиску газу відбувається зменшення швидкості зміни тиску газу у відсіку  $dP/d\tau = -1399,19355 \times 10^4$  Па/с до  $dP/d\tau = -952,2636 \times 10^4$  Па/с. Подальше збільшення початкового тиску газу у відсіку призводить до підвищення швидкості зміни тиску газу у відсіку, максимальне значення якого досягає величини  $dP/d\tau = -3016,2727 \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = 0,939127 \times 10^5$  Па. У діапазоні початкових тисків  $P_{\text{над}} = (0,939127 \dots 2,1108) \times 10^5$  Па швидкість зміни тиску газу у відсіку знижується і досягає мінімального значення  $dP/d\tau = -2052,41935 \times 10^4$  Па/с при  $P_{\text{над}} = 1,36457516 \times 10^5$  Па. Максимальне значення швидкості зміни тиску газу у відсіку отримано для  $F_{\text{від}} = 0,486$  за  $P_{\text{над}} = 1,83697 \times 10^5$  Па ( $dP/d\tau = -4738,796 \times 10^4$  Па/с). В області критичних і біля критичних відношень тисків ( $P_{\text{над}} = (0,446343 \dots 1,1244) \times 10^5$  Па) за умови збільшення початкового тиску газу у відсіку отримано збільшення швидкості зміни тиску газу. Узагальнивши результати досліджень витікання газу через отвір різної площі можна встановити закономірність зміни тиску газу у відсіку в часі в залежності від початкового тиску. Для відносної площі отвору в діапазоні  $F_{\text{від}} = (0,036 \dots 0,486)$  у разі збільшення початкового тиску газу у відсіку тиск газу зменшується зі швидкістю, яка може бути описана лінійною залежністю відповідно до кривої 4 (рис. 4.13).

Аналіз результатів проведених досліджень свідчить, що швидкість зміни тиску газу у відсіку розташовується всередині області, яка обмежена мінімальними і максимальними значеннями швидкості. У разі раптової розгерметизації відсіку через «рваний» отвір з  $F_{\text{від}} = (0,036 \dots 0,486)$  тиск газу у відсіку змінюється протягом  $\tau = (0,00055 \dots 0,0044)$  с зі швидкістю в діапазоні від  $dP/d\tau = -(952,2636$

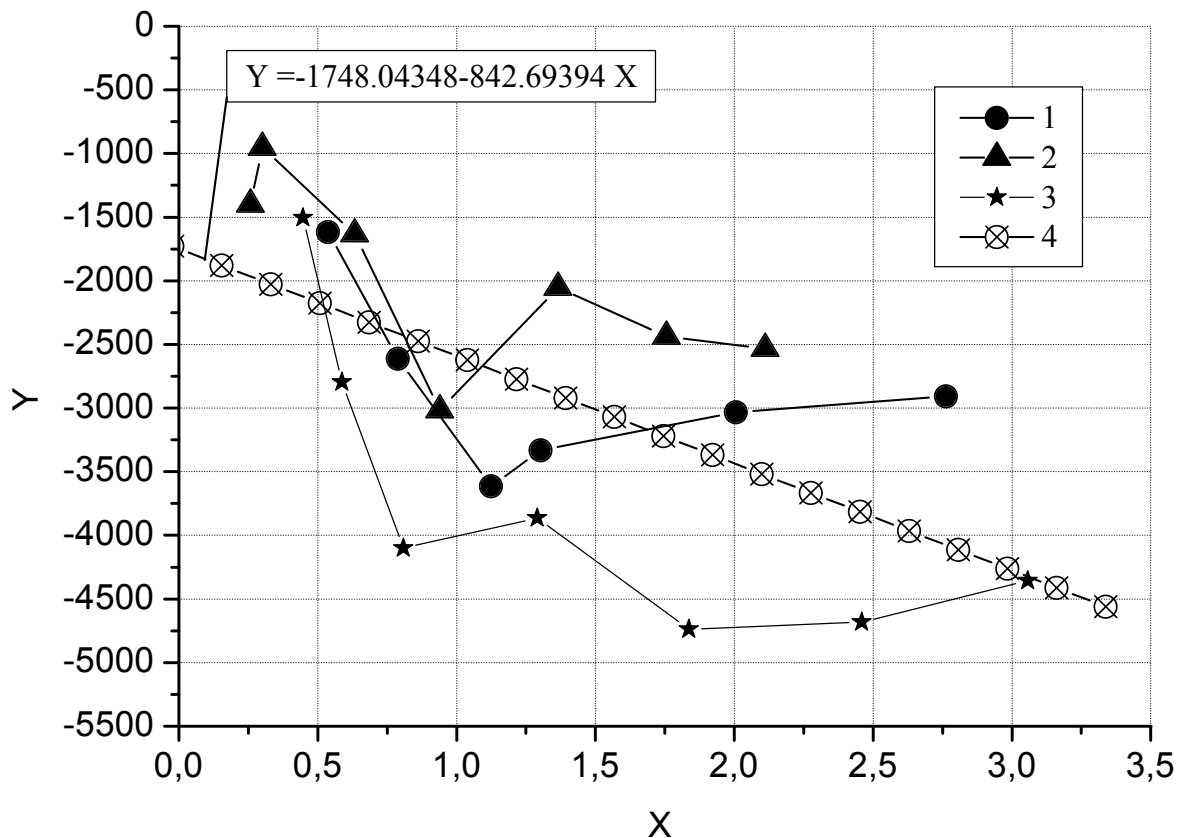


Рисунок 4.13. Залежність початкової швидкості зміни тиску газу у відсіку ( $Y \times 10^4$ , Па/с) в залежності від початкового надлишкового тиску ( $X \times 10^5$ , Па) за різних варіантів виконання «рваного» отвору:

1 –  $F_{\text{над}} = 0,036$ ; 2 –  $F_{\text{від}} = 0,0948$ ; 3 –  $F_{\text{від}} = 0,486$ ; 4 – модель,  $Y = -1748,04348 - 842,69394 X$

...3016,2727)  $\times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = (0,299798 \dots 2,7632) \times 10^5$  Па до  $dP/d\tau = -(1505,793 \dots 4738,796) \times 10^4$  Па/с за  $P_{\text{над}} = (0,446343 \dots 3,0573) \times 10^5$  Па.

Порівняння результатів аналізу зміни тиску газу у відсіку під час витікання газу через «рваний», круглий отвори в початковий момент розгерметизації відсіку свідчить, що за відносно близьких діапазонів зміни відносної площі отвору для круглого отвору область швидкості зміни тиску перевищує на границі мінімальної швидкості в (25 ... 16) разів, а на границі максимальної швидкості в (1,7 ... 1,1) разу. Порівняння лінійних моделей швидкості зміни тиску газу у відсіку для круглого і рваного отворів (рис. 4.13, крива 4) свідчить, що за умови збільшення початкового тиску у відсіку для круглого отвору відбувається збільшення падіння тиску повітря з

більшою швидкістю. Для порівнюваних отворів перетин лінійних моделей швидкості зміни тиску газу відбувається в точці за  $P_{\text{над}} = 0,5076 \times 10^5$  Па. Таким чином, за  $P_{\text{над}} < 0,5076 \times 10^5$  Па маємо максимальну швидкість зміни тиску газу для «рваного» отвору, а за  $P_{\text{над}} > 0,5076 \times 10^5$  Па – для круглого отвору. Цей висновок справедливий без урахування впливу відносної площі отвору. Порівняємо результати витікання газу з відсіку через відносно близькі значення отворів. Для  $F_{\text{від}} = 0,036$  швидкість зміни тиску газу у відсіку через «рваний» отвір у порівнянні з круглим отвором перевищує на  $-(1602,449 \dots 3536,589) \times 10^4$  Па/с у діапазоні початкових тисків у відсіку  $P_{\text{над}} = (0,536 \dots 2,763) \times 10^5$ . У разі збільшення відносної площі отвору до  $F_{\text{від}} = (0,486 \dots 0,407)$  для рваного отвору зберігається перевищення швидкості зміни тиску газу у відсіку на  $-(55,353 \dots 1919,673) \times 10^4$  Па/с в діапазоні початкових тисків у відсіку  $P_{\text{над}} = (0,484 \dots 2,325) \times 10^5$  Па. Максимальне відносне зниження тиску у відсіку для «рваного» отвору отримано за біля критичних відношень тисків газу. У разі зменшення початкового тиску газу у відсіку для круглого отвору в області  $P_{\text{над}} < 0,484 \times 10^5$  Па швидкість зміни тиску збільшується і у відношенні до «рваного» отвору переважає на  $-627,31 \times 10^4$  Па/с.

На початку передбачалося, що установка на виході з відсіку отвору з рваними кромками спричинить утворення додаткових джерел пульсацій тиску газу, а отже, і збільшення гідравлічного опору. Це мало привести до зменшення витрати газу через такий отвір. Проведені ж експериментальні дослідження спростували це припущення. Встановлено основні закономірності рухомого газу з відсіку через різні отвори із застосуванням двох способів (визначення витрати газу через дросельний пристрій за типовою методикою і визначення швидкості зміни тиску газу у разі раптової розгерметизації). Встановлено, що за інших рівних умов у процесі витікання газу через «рваний» отвір по відношенню до круглого отвору на деяких режимах течії газу відбувається збільшення споживання газу та початкової швидкості зміни тиску газу у відсіку. Зміна швидкості тиску газу у відсіку впливає на витрату газу з відсіку і дію газу на досліджувану конструкцію відсіку.

Результати аероакустичних досліджень наведено в [261, 264]. У разі раптової розгерметизації через «рваний» отвір з  $F_{\text{від}} = 0,036$  характер спектра шуму за



докритичного відношення тиску порівнюється зі спектрами шуму для отворів типу «щілина», «корок», особливо на частотах до 63 Гц. Близькість акустичних характеристик для «рваного» отвору спостерігається з круглим отвором за  $F_{\text{від}} = 1$ .

Для «рваного» отвору за докритичного відношення тиску з  $P_{\text{над}} = 0,77 \times 10^5$  Па і  $P_{\text{над}} = 0,46 \times 10^5$  Па максимальну зміну пульсацій тиску отримано в області низьких частот у діапазоні (8 ... 31,5) Гц. З підвищенням частоти пульсацій тиску збільшується РЗТ з  $L = 58,6$  дБ до  $L = 81,9$  дБ за  $P_{\text{над}} = 0,46 \times 10^5$  Па, а за  $P_{\text{над}} = 0,77 \times 10^5$  Па з  $L = 69,6$  дБ до  $L = 97,5$  дБ. На частотах понад 31,5 Гц має відносно рівномірний характер зміни РЗТ. За закритичного відношення тиску спектр шуму має максимальні РЗТ в області частот (8 ... 16) Гц, (2000 ... 4000) Гц і мінімальні РЗТ в області частот (250 ... 500) Гц. Переважний внесок у загальний рівень шуму вносять пульсації звукового тиску на частотах в області (8 ... 16) Гц. У разі збільшення тиску у відсіку з  $P_{\text{над}} = 0,46 \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = 2,75 \times 10^5$  Па безперервно збільшується СРЗТ з  $L_{\text{сум}} = 99,1$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 121,2$  дБ. За умови підвищення початкового тиску у відсіку з  $P_{\text{над}} = 0,46 \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = 2,75 \times 10^5$  Па збільшення РЗТ на частотах (8 ... 125) Гц становить  $\Delta L = (53,6 \dots 22,3)$  дБ, на частотах (125 ... 1000) Гц –  $\Delta L = (10,2 \dots 22,3)$  дБ, на частотах понад 1000 Гц –  $\Delta L = (12,2 \dots 19,3)$  дБ.

За умови збільшення отвору до  $F_{\text{від}} = 0,095$  відбувається зміна спектра в області закритичного відношення тисків і відносно низьких тисків у відсіку. Це свідчить про те, що відбувається перебудова характеру течії газу через отвір. В області тисків газу у відсіку  $P_{\text{над}} = (0,3 \dots 1,75) \times 10^5$  Па збігаються характери пульсацій тиску для «рваного» отвору і щілини. На частотах понад 31,5 Гц за  $P_{\text{над}} = 0,26 \times 10^5$  Па збігаються характери пульсацій тиску для отворів типу «рваний» і «корок».

Аналіз спектру для  $F_{\text{від}} = 0,095$  свідчить, що максимальну зміну пульсацій тиску за досліджуваних тисків у відсіку отримано в області низьких частот у діапазоні (8 ... 31,5) Гц, і вона становить  $\Delta L = (31,2 \dots 63,2)$  дБ за зміни тиску у відсіку в області  $P_{\text{над}} = (0,26 \dots 1,75) \times 10^5$  Па. За умови підвищення початкового тиску газу у відсіку з  $P_{\text{над}} = 0,26 \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = 1,75 \times 10^5$  Па у процесі раптової

розгерметизації відбувається безперервне збільшення СРЗТ з  $L_{\text{сум}} = 96,6$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 127,8$  дБ. При цьому, збільшення РЗТ на частотах (8 ... 125) Гц становить  $\Delta L = (31,2 \dots 63,2)$  дБ, на частотах (125 ... 1000) Гц –  $\Delta L = (37 \dots 21,8)$  дБ, на частотах понад 1000 Гц –  $\Delta L = (23,9 \dots 32,2)$  дБ. Переважний внесок у загальний рівень шуму належить пульсаціям звукового тиску на частотах в області (31,5 ... 63) Гц, за винятком випробувань за  $P_{\text{над}} = 0,26 \times 10^5$  Па (переважний внесок на частотах (1000 ... 8000) Гц).

У разі збільшення отвору до  $F_{\text{від}} = 0,486$  характер спектра істотно змінюється (рис. 4.14). Спектр шуму має пологу характеристику. За умови підвищення частоти пульсації тиску газу маємо загальний характер зниження РЗТ. Деяке відхилення від цієї закономірності спостерігається за біля критичних режимів течії. Переважний внесок у загальний рівень шуму належить гранично низьким частотам (8 ... 16) Гц.



Рисунок 4.14. РЗТ (Y, дБ) в октавних смугах частот (X, Гц) для «рваного» отвору з  $F_{\text{від}} = 0,486$  при розгерметизації відсіку з різними початковими тисками газу в відсіку: Ряд 1 –  $P_{\text{над}} = 0,22 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 104,79$  дБ; Ряд 2 –  $P_{\text{над}} = 0,4 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 106,83$  дБ; Ряд 3 –  $P_{\text{над}} = 0,77 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 120,59$  дБ; Ряд 4 –  $P_{\text{над}} = 1,26 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 117,2$  дБ; Ряд 5 –  $P_{\text{над}} = 1,85 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 128,54$  дБ; Ряд 6 –  $P_{\text{над}} = 3,01 \times 10^5$  Па,  $L_{\text{сум}} = 136,12$  дБ

Винятком є внесок пульсацій тиску на частоті 125 Гц при  $P_{\text{над}} = 3,01 \times 10^5$  Па. У разі підвищення початкового тиску у відсіку  $P_{\text{над}} = 0,22 \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = 3,01 \times 10^5$  Па отримано збільшення СРЗТ з  $L_{\text{сум}} = 104,8$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 136,1$  дБ. Збільшення РЗТ на частотах (8 ... 125) Гц становить  $\Delta L = (36,8 \dots 32,4)$  дБ, на частотах (125 ... 1000) Гц –  $\Delta L = (32,4 \dots 26,1)$  дБ, на частотах понад 1000 Гц –  $\Delta L = (32,1 \dots 24,5)$  дБ.

Порівняльний аналіз спектрів пульсацій тиску газу для  $F_{\text{від}} = 0,036$  і  $F_{\text{від}} = 0,095$  показує, що у разі збільшення відносно близьких початкових тисків газу у відсіку від  $P_{\text{над}} = (0,46 \dots 0,3) \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = (1,3 \dots 1,35) \times 10^5$  Па збільшується СРЗТ з  $L_{\text{сум}} = 99,1$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 115,9$  дБ ( $\Delta L_{\text{сум}} = 16,8$  дБ) для  $F_{\text{від}} = 0,036$  і з  $L_{\text{сум}} = 100,6$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 127,8$  дБ ( $\Delta L_{\text{сум}} = 27,2$  дБ) для  $F_{\text{від}} = 0,095$ . З аналізу спектрів для  $F_{\text{від}} = 0,036$  і  $F_{\text{від}} = 0,095$  впливає, що за умови збільшення початкового тиску газу у відсіку з  $P_{\text{над}} = (0,22 \dots 0,26) \times 10^5$  Па до  $P_{\text{над}} = (1,75 \dots 1,85) \times 10^5$  Па відбувається збільшення СРЗТ з  $L_{\text{сум}} = 96,6$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 112,3$  дБ ( $\Delta L_{\text{сум}} = 15,7$  дБ) для  $F_{\text{від}} = 0,095$  і з  $L_{\text{сум}} = 104,8$  дБ до  $L_{\text{сум}} = 128,5$  дБ ( $\Delta L_{\text{сум}} = 23,7$  дБ) для  $F_{\text{від}} = 0,486$ .

Узагальнюючи результати проведених досліджень, можна зробити висновок, що унаслідок раптової розгерметизації відсіку через «рваний» отвір зі збільшенням відносної площі отвору відбувається збільшення СРЗТ від мінімального значення  $L_{\text{сум}} = 99,1$  дБ для  $F_{\text{від}} = 0,036$  за  $P_{\text{над}} = 0,46 \times 10^5$  Па до максимального значення  $L_{\text{сум}} = 136,1$  дБ для  $F_{\text{від}} = 0,486$  за  $P_{\text{над}} = 3,01 \times 10^5$  Па. Збільшення відносної площі отвору призводить до збільшення РЗТ у всьому діапазоні частот (8 ... 16000) Гц. Переважний внесок належить РЗТ в області низьких частот у діапазоні (8 ... 16) Гц. Таким чином, зі збільшенням відносної площі «рваного» отвору відбувається збільшення РЗТ в області низьких частот.

#### **4.4.5. Порівняння аероакустичних характеристик круглого і «рваного» отворів**

На підставі проведених аероакустичних досліджень можна провести порівняльний аналіз РЗТ, створюваних рухомих потоком у разі раптової розгерметизації відсіку через круглий і «рваний» отвори. У проміжку між

досліджуваними тисками спектри шуму апроксимуємо за лінійним законом. З використанням програми UNIGRAPHICS визначаємо в тривимірному просторі поверхні спектрів шуму у третьоктавних смугах частот у разі раптової розгерметизації відсіку через досліджувані отвори з  $F_{\text{від}} = 0,036$  (рис. 4.15). Під час формування поверхонь масштаб по осі X становить 1: 10000, по осі Z – 1: 100, по осі Y – 1: 1. За даними рис. 4.15 визначаємо лінію перетину поверхонь спектрів шуму (рис. 4.16).

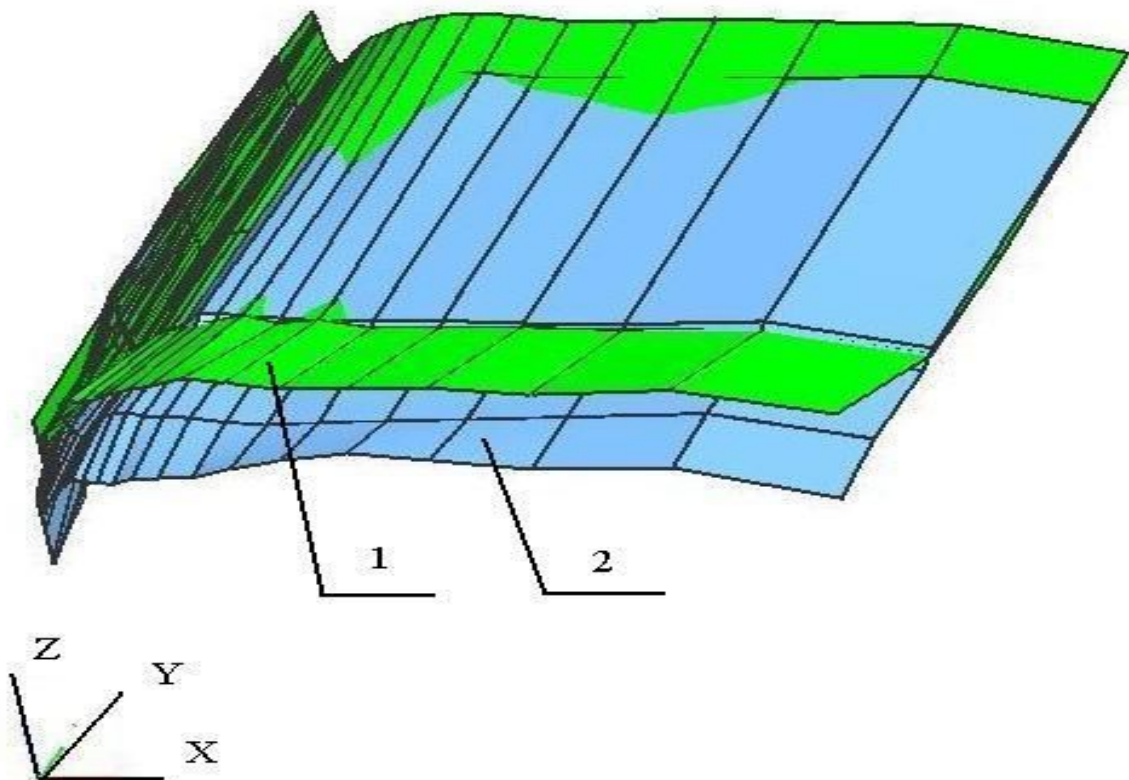


Рисунок 4.15. Залежність РЗТ (Z, дБ) в третьоктавних смугах частот (X, Гц) від надлишкового тиску газу у відсіку ( $Y \times 10^5$ , Па) для круглого (1) і «рваного» (2) отворів з  $F_{\text{від}} = 0,036$ . Аксонометрична проекція

Відповідно до рис. 4.16 визначаємо області переважних РЗТ у разі раптової розгерметизації відсіку в залежності від конструктивного виконання отвору. Під час витікання газу через круглий отвір максимальні РЗТ отримано в порівнянні з рваним отвором за тиску газу у відсіку  $P_{\text{над}} < (1,26 \dots 1,47) \times 10^5$  Па на частотах (1339 ...

20000) Гц,  $P_{\text{над}} <(1,28 \dots 2,22) \times 10^5$  Па на частотах  $f <(877 \dots 1339)$  Гц,  $P_{\text{над}} > (2,22 \dots 2,75) \times 10^5$  Па на частотах (1339 ... 13141) Гц. В області частот (877 ... 1339) Гц за  $P_{\text{над}} = (1,28 \dots 2,22) \times 10^5$  Па лінія перетину поверхонь має хвилеподібний характер. В області відносно низьких тисків за  $P_{\text{над}} = (1,26 \dots 1,29) \times 10^5$  Па на частотах (6000 ... 20000) Гц лінія перетину поверхонь близька до лінійної залежності. Верхня межа

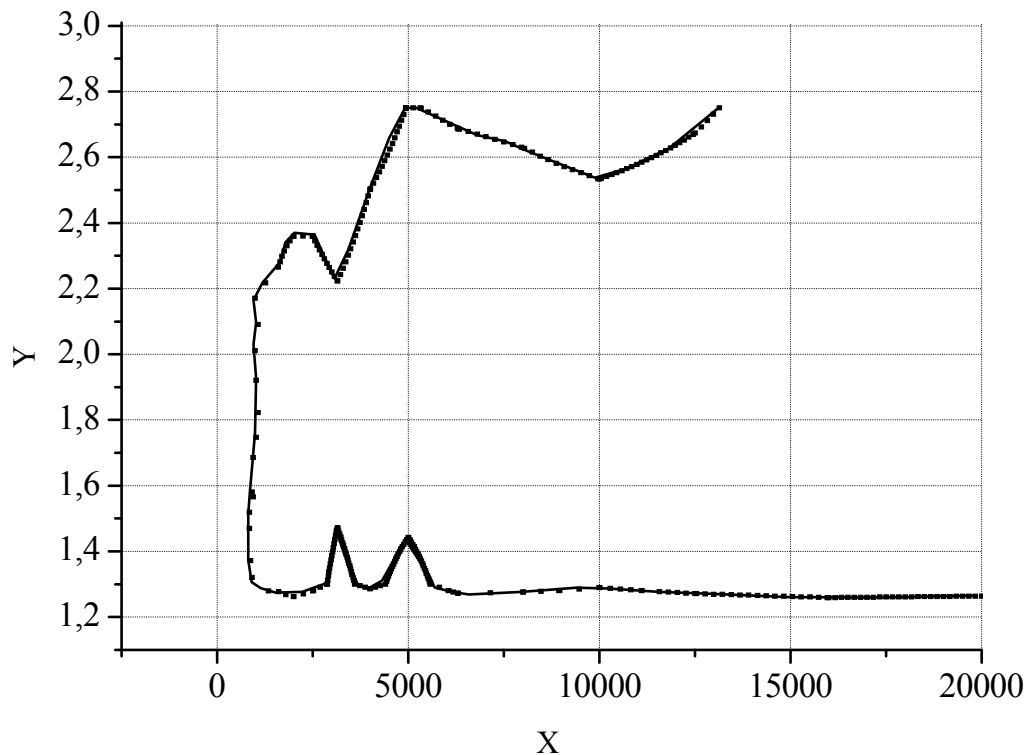


Рисунок 4.16. Залежність частоти (X, Гц) від надлишкового тиску у відсіку ( $Y \times 10^5$ , Па) для лінії перетину поверхонь спектрів РЗТ круглого і «рваного» отворів з  $F_{\text{від}} = 0,036$

перетину поверхонь обмежується максимальними значеннями досліджуваних параметрів. Внутрішня область лінії перетину поверхонь визначає максимальні РЗТ під час витікання газу через «рваний» отвір. Таким чином, у разі раптової розгерметизації відсіку через отвір з початковим тиском газу у відсіку і частотою, значення яких розташовані у внутрішній області лінії перетину поверхонь спектрів, переважний внесок у загальний рівень шуму робить рваний отвір, у зовнішній області – круглий отвір.

Аналіз зміни СРЗТ в залежності від форми отвору під час раптової розгерметизації відсіку дає змогу встановити деякі закономірності утворення пульсацій тиску газу. Так, за інших рівних умов максимальний СРЗТ ( $L_{\text{сум}} = 129,03$  дБ) отримано за умови витікання через щілину з  $P_{\text{над}} = 1,9 \times 10^5$  Па. За такого ж тиску отримано близькі значення СРЗТ ( $L_{\text{сум}} = 118,5$  дБ) для круглого отвору і «рваного» отвору. В області початкових тисків газу у відсіку за  $P_{\text{над}} 1,28 \times 10^5$  Па для круглого отвору і рваного отвору СРЗТ порівнянні. Отже, в цій області початкових тисків газу у відсіку у разі раптової розгерметизації відсіку форма отвору впливає на перерозподіл спектра шуму за частотою. Тим часом за  $P_{\text{над}} < 1,28 \times 10^5$  Па у процесі витікання газу з відсіку форма отвору впливає на величину СРЗТ і на зміну спектра шуму за частотою. Проведені дослідження свідчать, що істотних змін зазнають рівні пульсацій тиску газу. Так, за раптової розгерметизації з початковим тиском газу у відсіку  $P_{\text{над}} \approx 0,57 \times 10^5$  Па СРЗТ для круглого отвору становить  $L_{\text{сум}} = 122,1$  дБ, а для «рваного» отвору –  $L_{\text{сум}} = 100,7$  дБ.

Деяку близькість РЗТ отримано за умови витікання газу через отвори типу «корок» і «рваний». Але все ж за рівних умов у області початкових тисків  $P_{\text{над}} = (0,75 \dots 0,77)$  Па для «рваного» отвору СРЗТ становить  $L_{\text{сум}} = 103,7$  дБ, а для отвори типу «корок» –  $L_{\text{сум}} = 101,8$  дБ.

Лінії перетину поверхонь спектрів РЗТ для круглого і «рваного» отворів залежать від відносної площі отвору. У разі збільшення відносної площі отвору кількість областей перетину поверхонь зростає. Так, для  $F_{\text{від}} = (0,486 \dots 0,497)$  (рис. 4.17) є три області перетину спектрів РЗТ (рис. 4.18) і три області (поз.1,2,3) максимальних РЗТ для рваного отвору. Перша область (поз. 1) має місце з початковим тиском газу у відсіку  $P_{\text{над}} (1,43 \dots 1,24) \times 10^5$  Па в діапазоні частот (10551 ... 20000) Гц,  $P_{\text{над}} > (1,86 \dots 1,43) \times 10^5$  Па в діапазоні частот (10565 ... 10551) Гц,  $P_{\text{над}} > (2,3 \dots 1,86) \times 10^5$  Па в діапазоні частот (8913 ... 10565) Гц. Ця область відкрита і обмежена тільки нижніми значеннями тиску газу у відсіку. Друга область (поз. 2) є замкнутою і обмежується початковими тисками газу у відсіку за  $P_{\text{над}} > (0,7 \dots 0,77) \times 10^5$  Па в діапазоні частот (1716 ... 3977) Гц,  $P_{\text{над}} > (1,24 \dots 0,7) \times 10^5$  Па в

діапазоні частот (2025 ... 1716) Гц,  $P_{\text{над}} < (1,24 \dots 1,21) \times 10^5$  Па в діапазоні частот (2025 ... 6151) Гц,  $P_{\text{над}} > (0,77 \dots 1,21) \times 10^5$  Па в діапазоні частот (3977 ... 6151) Гц. Третя область (поз. 3) є відкритою в області високих частот (понад 20000 Гц) і обмежена двома лініями за  $P_{\text{над}} > (0,439 \dots 0,507) \times 10^5$  Па і  $P_{\text{над}} < (0,507 \dots 0,536) \times 10^5$  Па в діапазоні частот (13275 ... 20000) Гц. Третя область (поз. 3) щодо двох попередніх областей має відносно невелику область зміни тиску газу у відсіку і частоти пульсацій тиску.

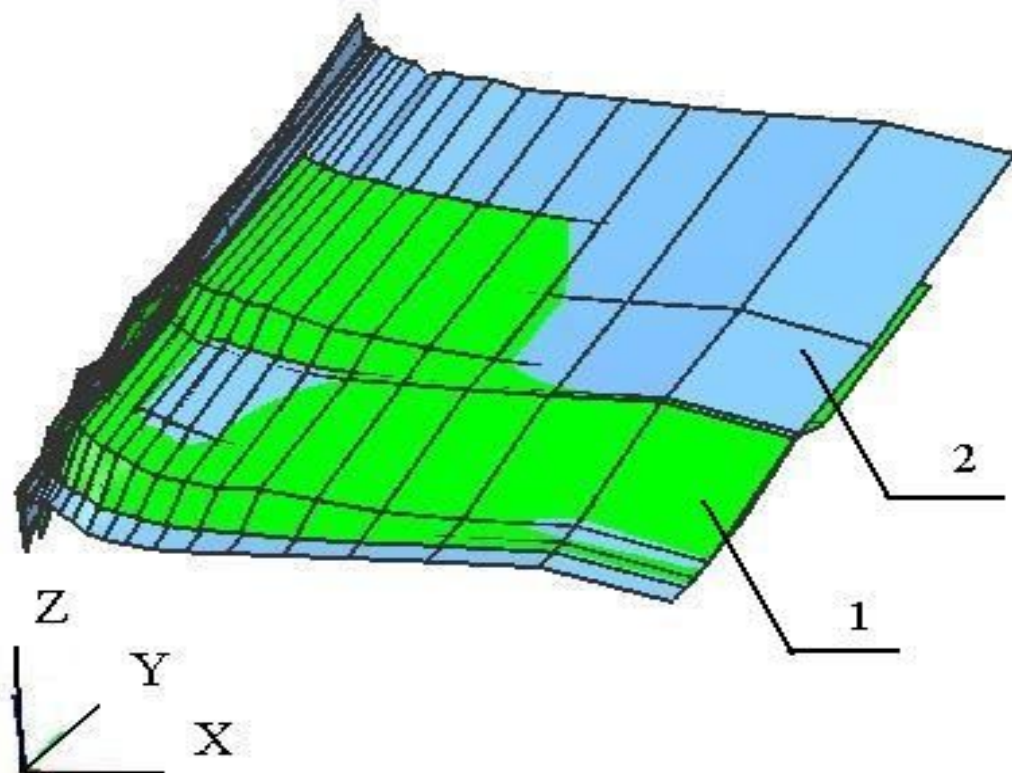


Рисунок 4.17. Залежність РЗТ ( $Z$ , дБ) в третьоктавних смугах частот ( $X$ , Гц) від надлишкового тиску газу у відсіку ( $Y \times 10^5$ , Па) для круглого (1) і «рваного» (2) отворів з  $F_{\text{від}} = 0,486 \dots 0,497$ . Аксонометрична проекція

Розглянемо динаміку утворення отвору в процесі раптової розгерметизації досліджуваного відсіку. У початковий момент руйнування мембрани утворюється отвір типу «щілина». Оскільки мембрана являє собою пружний елемент і за своїми пружними властивостями суттєво відрізняється від перегородки з заданим отвором, то витікання газу з відсіку через щілину для досліджуваної конструкції займає від-