

**ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОРШНЯ-УДАРНИКА  
ЗАНУРНИХ ПНЕВМОУДАРНИКІВ**

Ударно-обертове буріння із застосуванням занурних пневмоударників є одним із найефективніших методів спорудження свердловин у міцних породах. Воно широко використовується у видобутку корисних копалин, геологорозвідці, нафто- та газовидобутку, а також у будівництві. Переваги цього методу включають високу швидкість буріння, енергоефективність та точність отвору.

Ключовим елементом занурного пневмоударника є поршень, що перетворює енергію стисненого повітря на ударну дію, яка руйнує гірську породу. При цьому ефективність передавання енергії визначається не лише масою і швидкістю поршня, а й формою поршня та характером пружної хвилі, що виникає при ударі. Конструкція ударного вузла має критичне значення для надійності та довговічності інструменту.

Метою дослідження є підвищення ефективності руйнування порід шляхом оптимізації форми поршня пневмоударника, зокрема, зниження концентрації напружень у його матеріалі. Об'єкт дослідження – процес співударіння поршня з хвостовиком бурового інструменту, предмет – параметри та форма поршня.

Наукова новизна дослідження полягає у виявленні закономірностей між геометрією поршня, зокрема формою переходів між діаметрами, та рівнем концентрації напружень у матеріалі. Встановлено, що форма ударної частини, особливо місць переходів, відіграє ключову роль у тривалості експлуатації поршня. Ударні навантаження, які виникають у поршні під час роботи, можуть призводити до накопичення втомних пошкоджень і передчасного виходу з ладу.

Дослідження показали, що застосування бутилкоподібного скруглення з конусним переходом між діаметрами дозволяє знизити коефіцієнт концентрації напружень у поршні П-110 у 1,6 рази. Використано комп'ютерне моделювання в середовищі SolidWorks Simulation (Drop Test), а також аналітичні методи для розрахунку передударної швидкості поршня, яка становить 7,6 м/с.

Визначено ключові зони концентрації напружень: внутрішній перехід під кутом  $90^\circ$ , торцева ударна площина та зовнішній перехід діаметрів. Для кожної зони було проведено аналіз впливу радіуса скруглення на зниження коефіцієнтів концентрації напружень. У місці 1 спостерігається лінійна зворотна залежність між збільшенням радіуса заокруглення та зменшенням напружень ( $r = 0.994$ , похибка апроксимації – 3,2%). У місці 3 аналогічна залежність ( $r = 0.999$ , похибка – 0,3%).

Особливо ефективним виявилось бутилкоподібне скруглення, яке включає плавний радіус і конусний перехід. Застосування такої форми дозволило знизити коефіцієнт концентрації напружень у місці 1 з 3,97 до 2,09, а в місці 3 – з 3,57 до 1,01. Це наочно демонструє, що зміна форми перетинів значно підвищує втомну міцність деталі. Крім того, було виявлено кумулятивний ефект, який виникає при одночасному вдосконаленні обох критичних зон – зниження напружень у кожному з місць виявилось глибшим, ніж при окремій оптимізації.

У кожному з цих місць проведено оптимізацію форми й визначено значення коефіцієнтів концентрації напружень. Для прикладу, у місці 1 коефіцієнт було знижено з 3,97 до 2,09, а у місці 3 – з 3,57 до 1,01. Встановлено лінійну залежність між радіусом скруглення та зниженням напружень, що підтверджується високими коефіцієнтами кореляції ( $r > 0.99$ ).

Особливо важливим є відкритий кумулятивний ефект, що виникає при одночасному згладженні форми в обох критичних місцях (1 і 3), що призводить до наднормового зниження напружень у матеріалі. Удосконалена форма поршня дозволяє зменшити локальні напруження ефективніше, ніж кожна окрема зміна.

У результаті розроблено нову конструкцію поршня-ударника для занурного пневмоударника П-110, яка включає раціональні скруглення та переходи. Запропонована геометрія вписується у конструкційні рамки бурового інструмента, забезпечуючи надійність без додаткових змін у технології буріння.