

В.М. Гелетій, Р.Т. Гарбузинський*, П.М. Панів*
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра деталей машин,
*ТЗОВ ВТФ "Меркурій – Центр" м. Львів

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ І ЗАСОБІВ АНАЛІЗУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ДЮБЕЛЬНОГО КРІПЛЕННЯ

© Гелетій В.М., Гарбузинський Р.Т., Панів П.М., 2006

Наведено результати дослідження несучої здатності дюбельних кріплень будівельних риштувань, одержані за допомогою комп'ютерного моделювання, ґрунтованого на методі кінцевих елементів, лабораторних експериментів і експериментального зразка вимірювального пристрою в місці установки будівельних риштувань. Встановлено, що визначальною причиною втрати несучої здатності дюбельного кріплення будівельних риштувань є руйнування матеріалу будівлі.

In article results of research of permissible loads for plugs fastenings of building woods with the help of the computer modeling based on a method of final elements, with the help of laboratory experiments, and with the help of an experimental sample of the made measuring device used in installation sites of building woods are stated. It is established, that the determining reason of loss of bearing ability for plugs fastenings is destruction of a bricklaying in an installation site for plugs.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Аналіз відомих досліджень і публікацій. Завдяки своїй високій технологічності, економічності і широкій номенклатурі комплектуючих дюбельні кріплення є досить поширеними. Ці кріплення ефективно використовуються під час монтажу сучасних будівельних риштувань.

Публікацій, присвячених теоретичним або експериментальним дослідженням дюбельних кріплень, майже немає. У статті [1] узагальнено інформацію про особливості використання різного типу дюбельних кріплень та їх відповідність загальноєвропейським будівельним нормам. Зазначено, що, незважаючи на певний прогрес у розробленні і застосуванні відповідних норм, залишається багато випадків використання такого виду кріплень, які не контролюються нормами. Інформацію про експериментальні дослідження несучої здатності дюбельних кріплень у легкому бетоні наведено в статті [2]. Експериментально встановлена несуча здатність на розтяг дюбельних кріплень у легкому бетоні становить 6 кН.

Постановка задачі. Дюбельні кріплення є дуже відповідальними елементами з позицій надійності і безпеки експлуатації будівельних риштувань. Враховуючи значне розсіювання механічних властивостей будівельних матеріалів, широку номенклатуру дюбелів і гаків і вплив інших факторів, що мають випадковий характер, актуальним є визначення фактичних параметрів несучої здатності дюбельних кріплень будівельних риштувань у місцях їх встановлення.

Важливим є також розроблення розрахункових моделей аналізу навантаження і напруженого стану елементів дюбельних кріплень з використанням кінцевоелементного комп'ютерного моделювання, які дають можливість одержати якісну і досить адекватну кількісну картину напруженого стану матеріалу, в який кріпиться дюбель, і з'ясувати причини і локалізацію його руйнування як основного критерію несучої здатності дюбельного кріплення.

Розрахункові моделі аналізу несучої здатності дюбельного кріплення. Основним будівельним матеріалом, до якого за допомогою дюбельних кріплень монтуються риштування, є цегла. Схему навантаження дюбельного кріплення показано на рис. 1. У результаті вгвинчування гака 1 і розпирання

дюбеля 2 в отворі цегли 3 створюється тиск p_1 , який спричиняє тертя по поверхні дюбеля і отвору цегли q_f , яке і утримує дюбель з навантаженням осьовою силою F гаком в цеглі.

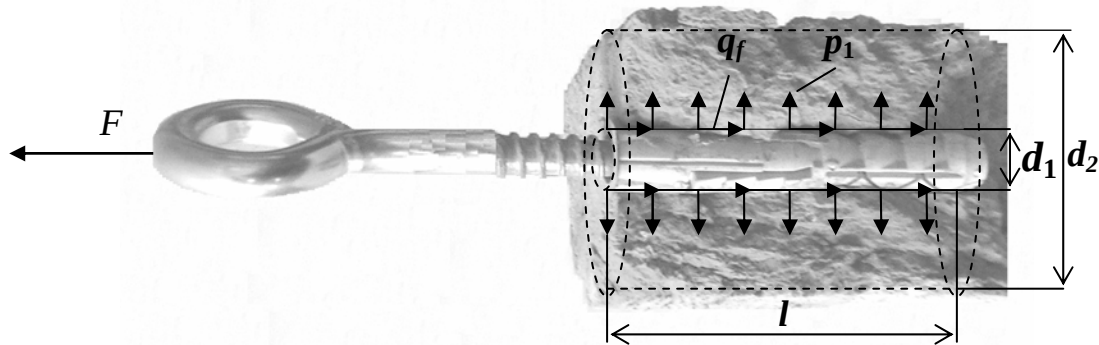


Рис. 1. Схема навантаження дюбельного кріплення

З номенклатури дюбельних кріплень і практики їх застосування приймаємо $l = 100$ мм $d = 16$ мм, $F = 10$ кН (1000 кг), $f = 0,25$.

За умови рівноваги сил у дюбельному кріпленні одержимо

$$F = p_1 \cdot l \cdot d \cdot \pi \cdot f, \quad (1)$$

звідки

$$p_1 = F / (l \cdot d \cdot \pi \cdot f) = 10^4 / (100 \cdot 16 \cdot 3,14 \cdot 0,25) = 8 \text{ МПа.}$$

Задачу міцності матеріалу цегли з отвором, навантаженим розпираючим тиском дюбеля, можна у першому наближенні розглядати як задачу навантаження товстостінного циліндра (задача Ляме) [3].

Розглянемо циліндр з внутрішнім r_1 і зовнішнім r_2 радіусами, що перебуває під дією внутрішнього тиску p (рис. 2, а). Внаслідок симетрії циліндра і навантаження відносно його осі напруження будуть також симетричними відносно цієї ж осі.

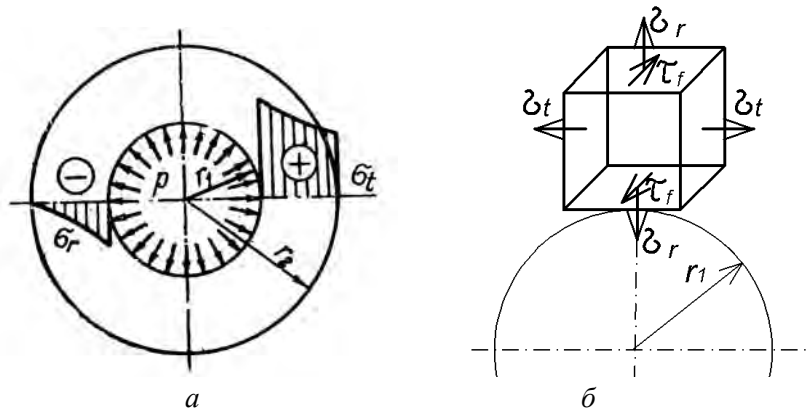


Рис. 2. Циліндр з внутрішнім r_1 і зовнішнім r_2 радіусами, що перебуває під дією внутрішнього тиску p (а); епюри напружень σ_t і σ_r (б)

Епюри напружень σ_t і σ_r мають характерний вигляд (рис. 2, б). Напруження σ_t розтягувальне, σ_r – стискувальне. Екстремальні значення цих напружень виникають на внутрішньому контурі циліндра і вони є найбільшим і найменшим головними напруженнями, які визначаються за формулами $\sigma_1 = \sigma_t = p \cdot (1 + r_1^2 / r_2^2) / (1 - r_1^2 / r_2^2)$. $\sigma_3 = \sigma_r = -p$

Паралельна до осі циліндра поздовжня сила, прикладена по внутрішній поверхні циліндра, спричиняє виникнення на цій поверхні напружень $\tau = F / (l \cdot d \cdot \pi)$

За наявності зовнішнього тиску p_2 головне розтягувальне напруження визначають за формулою $\sigma_1 = \sigma_t = [p_1 \cdot (1 + r_1^2 / r_2^2) - 2 p_2] / (1 - r_1^2 / r_2^2)$.

За умови, що r_1 є значно меншим за r_2 $\sigma_1 = \sigma_t = p_1 - 2 p_2$.

Для крихких матеріалів, яким є цегла, міцність визначається головним розтягувальним напруженням. Тобто $\sigma_t \leq [\sigma]$, де $[\sigma]$ – допустиме напруження розтягу для цегли, яке береться з довідника, сертифіката на цеглу або визначається експериментально. Максимально допустимий тиск, який створює дюбель в отворі цегли, з умови міцності цегли дорівнює

$$p \leq [\sigma] \cdot (1 - r_1^2 / r_2^2) / (1 + r_1^2 / r_2^2).$$

Розглянуті аналітичні залежності є досить грубим наближенням напруженого стану контакту “цегла – дюбель – навантажений гак” і не дають змоги враховувати такі важливі фактори, як вплив одностороннього зовнішнього тиску, нерівномірність внутрішнього тиску, форму зовнішнього контуру цегли та ін. Цих недоліків позбавлений метод твердотілого комп’ютерного моделювання і кінцевоелементний метод аналізу напруженого стану системи “цегла – дюбель”.

Кінцевоелементну модель цегли, навантаженої в отворі зусиллями дюбеля, наведено на рис. 3, а, результати комп’ютерного аналізу напруженого стану цегли – на рис. 3, б.

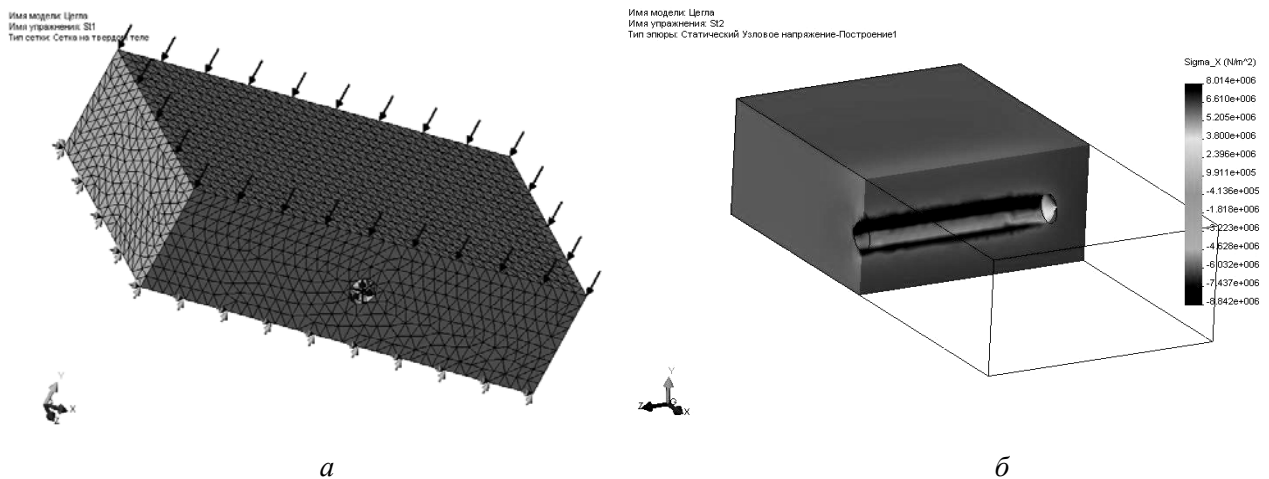


Рис. 3. Кінцевоелементне комп’ютерне моделювання напруженого стану цегли, навантаженої в отворі зусиллями дюбеля

4. Експериментальні лабораторні дослідження несучої здатності дюбельного кріплення.

Лабораторні експериментальні дослідження несучої здатності дюбельних кріплень проводились на установці ДМ-30 (рис. 4, а).

Визначались максимальні осьові зусилля на гаку Ø12 мм, вгвинченому в пластиковий дюбель Ø16 мм для різних видів цегли. Умови стискання цегли імітувались за допомогою спеціального пристрою (рис.5, б).

Результати досліджень свідчать, що осьові зусилля, що спричинили руйнування дюбельного кріплення, знаходяться в межах від 2 КН до 15 КН.

У всіх випадках несуча здатність дюбельного кріплення визначалась міцністю матеріалу цегли і умовами її стискування. За відсутності зовнішнього стискування цегла повністю руйнувалась у поперечному перерізі від розпираючого тиску дюбеля під час загвинчування гака. Характер руйнувань якісно підтверджує результати аналітичного і комп’ютерного аналізу напруженого стану цегли.

Для визначення фактичних параметрів несучої здатності дюбельних кріплень будівельних риштувань в місцях їхнього встановлення було розроблено і виготовлено експериментальний зразок вимірювального пристрою.

Схему пристрою показано на рис. 5, а сам пристрій – на рис. 6.

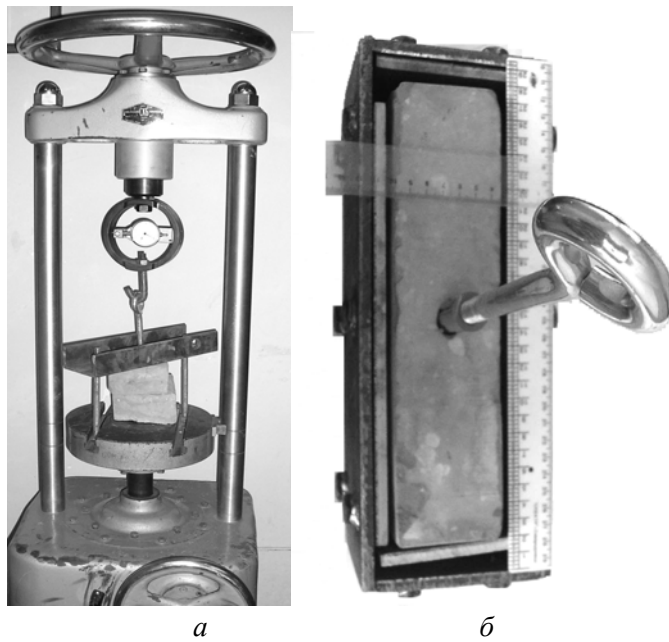


Рис. 4. Вимірювання несучої здатності дюбельних кріплень у лабораторних умовах

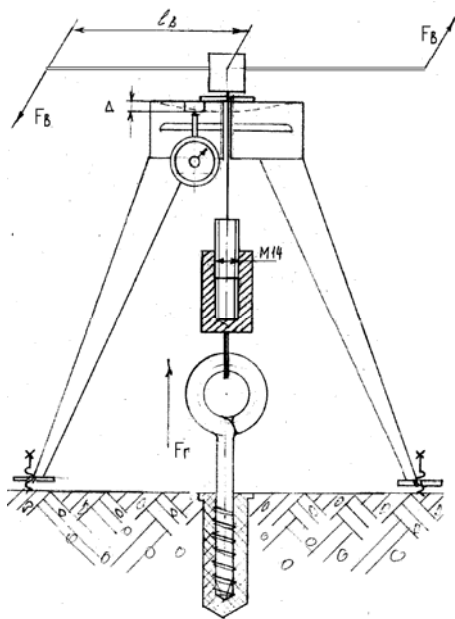


Рис. 5. Схема вимірювального пристрою



Рис. 6. Пристрій для вимірювання несучої здатності дюбельних кріплень у місцях їхнього встановлення

Пристрій складається з опорної металоконструкції з трьома опорними регульованими гвинтами, на якій закріплено динамометр і гвинтовий механізм, що забезпечує необхідне осьове зусилля. Зусилля визначається пружною деформацією динамометра, яку фіксують індикатором часового типу.

Тарування динамометра здійснювалося на установці ДМ-30 та іншими способами. Встановлено, що деформації динамометра 0,01 мм відповідає зусилля 1 КН. Максимальне зусилля, на яке розрахований вимірювальний пристрій, становить 25 КН (2,5 т).

Апробацію експериментального зразка вимірювального пристрою для визначення несучої здатності дюбельних кріплень проводили на об'єктах, що обслуговувались ТзОВ ВТФ “Меркурій – Центр”.

Встановлено, що несуча здатність дюбельних кріплень залежить в основному від міцності матеріалу. Із досягненням критичних значень зусиль матеріал руйнується в місці встановлення дюбельних кріплень (рис. 7). Діапазон критичних зусиль на об'єктах, де проводились дослідження, становить 12–25 кН.

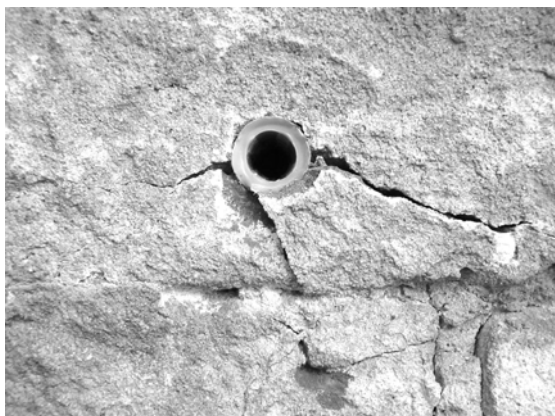


Рис. 7. Руйнування цегли під час навантаження дюбельного кріплення

Запропоновано рекомендації щодо підвищення несучої здатності дюбельних кріплень у цегляних стінах за наявності або відсутності штукатурки.

Висновки. Встановлено, що визначальною причиною втрати несучої здатності дюбельного кріплення будівельних риштувань є руйнування матеріалу будівлі. Враховуючи значне розсіювання механічних властивостей будівельних матеріалів, надійнішим є метод експериментального визначення несучої здатності дюбельних кріплень будівельних риштувань у місцях їхнього встановлення.

Розроблений експериментальний зразок вимірювального пристрою дає змогу визначати фактичну несучу здатність дюбельного кріплення у межах зусиль, що не перевищують 25 кН. Апробація пристрою на багатьох об'єктах підтвердила простоту і зручність його використання.

Враховуючи, що найчастіше матеріалом, в який монтується дюбельне кріплення, є цегляна кладка, важливим з позицій міцності є рівновіддаленість отвору під дюбель від контурів цегли. Найважче цієї умови дотримуватися під час висвердлювання отворів по штукатуреній цегляній кладці.

Для цілеспрямованого пошуку заходів підвищення несучої здатності дюбельних кріплень можна використати розроблену методику їхнього експериментального дослідження на лабораторному устаткуванні, а також за допомогою розрахункових кінцевоелементних моделей комп'ютерного аналізу напруженого стану системи “цегла – дюбель”.

1. *Notes on using plugs and powder actuated fasteners approved by authorities supervising construction. Betonwerk +Fertigteil – Technik*, 1. – 2003. – S. 20–34. 2. *Permissible loads for plugs in lightweight concrete. Betonwerk +Fertigteil – Technik*, 1. – 2003. – S. 106. 3. *Посацький С.Л. Опір матеріалів. – Львів, 1973. – 403 с*