

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

С. М. Золотов, О. М. Пустовойтова, П. М. Фірсов

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК
СТАЛЕКЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ З БЕТОНОМ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2023

УДК 624.078.4:693.5](075.8)

3-81

Автори:

Золотов Сергій Михайлович, кандидат технічних наук – розділи 1, 2, 3, 4, 5, 6;

Пустовойтова Оксана Михайлівна, кандидат технічних наук – вступ, розділ 4;

Фірсов Павло Михайлович, кандидат технічних наук – вступ, розділ 5

Рецензенти:

Глюха Микола Григорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімії, машин і апаратів хімічного виробництва Української інженерно-педагогічної академії;

Трикоз Людмила Вікторівна, доктор технічних наук, професор кафедри будівельні матеріалів, конструкцій і споруд Українського державного університету залізничного транспорту

*Рекомендовано до друку Вченою радою ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,
протокол № 8 від 30.04.2022*

Золотов С. М.

3-81 Проектування та розрахунок сталеклейових з'єднань з бетоном : навч. посіб. / С. М. Золотов, О. М. Пустовойтова, П. М. Фірсов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 187 с.

Навчальний посібник містить сучасні дані про конструкції анкерних болтів, методи їхнього розрахунку й проектування. Викладені питання, що стосуються утворення свердловин у бетоні, приготування матеріалів для закладення болтів, а також установки анкерних болтів й їхнього затягування. Представлено сучасні види інструментів, необхідних для проведення зазначених процесів.

Описані загальні положення з охорони праці, що містять законодавчі та нормативно-технічні документи, виробничу санітарію, безпеку праці, електро- та пожежну безпеку. Надані шляхи вирішення завдань охорони та безпеки праці під час виконання робіт із закріплення технологічного обладнання та металевих конструкцій до фундаментів. Як додатковий матеріал викладені положення з атестації робочих місць за умовами праці.

УДК 624.078.4:693.5](075.8)

© С. М. Золотов, О. М. Пустовойтова,
П. М. Фірсов, 2023

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 КОНСТРУКЦІЇ АНКЕРНИХ БОЛТІВ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ І БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	9
1.1 Конструкції вклеєних анкерних болтів	9
1.2 Види обпирання устаткування на фундаменти	17
1.3 Матеріал анкерних болтів	18
1.4 Аналіз основних конструкцій кріплення виробничого устаткування, комунікацій та технологічного обладнання	19
1.5 Конструкції кріплення промислового устаткування та комунікацій клейовим безанкерним методом	26
Питання для самоперевірки до розділу 1	32
2 МАТЕРІАЛИ, ЗАСТОСОВУВАНІ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ГЛУХИХ АНКЕРНИХ БОЛТІВ У СВЕРДЛОВИНАХ	33
2.1 Епоксидні клеї	33
2.2 Силоксановий клей	35
2.3 Жорсткі цементно-піщані суміші	36
2.4 Акриловий клей	37
2.4.1 Технологічні властивості акрилових клеїв	38
2.4.1.1 Приготування акрилового клею	38
2.4.1.2 В'язкість акрилового клею	41
2.4.1.3 Наповнюваність модифікованого акрилового клею ...	45
2.4.1.4 Життєздатність акрилового клею	47
2.4.1.5 Час затвердіння акрилових клеїв	51
2.4.2 Когезійна міцність і фізико-механічні властивості акрилового клею	61
2.4.2.1 Визначення когезійної міцності акрилового клею	64
2.4.2.2 Деформаційні властивості	70
2.4.2.3 Характер руйнування зразків акрилового клею	75
Питання для самоперевірки до розділу 2	79
3 РОЗРАХУНОК І ПРОЄКТУВАННЯ АНКЕРНИХ БОЛТІВ	81
3.1. Розрахунок анкерних болтів та клейових сталобетонних з'єднань...	81
3.2 Методи інженерного розрахунку клейових сталобетонних з'єднань	90
3.3 Приклади розрахунку анкерних болтів різних конструкцій та клейових сталобетонних з'єднань	93
3.4 Проєктування анкерних болтів і їхні позначення на кресленнях	103
Питання для самоперевірки до розділу 3	106

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КЛЕЙОВОГО АНКЕРНОГО З'ЄДНАННЯ	107
4.1 Напружено-деформований стан клейового анкерування сталевих стержнів у бетон	107
4.1.1 Напруження в з'єднанні	107
4.1.2 Залежність напружень від фізичних властивостей матеріалів і геометрії з'єднання	112
4.2 Розрахунок анкерного з'єднання	121
Питання для самоперевірки до розділу 4	124
5 ТЕХНОЛОГІЯ УСТАНОВКИ ФУНДАМЕНТНИХ БОЛТІВ У БЕТОНІ Й ЗАЛІЗОБЕТОНІ ТА КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ БЕЗАНКЕРНИХ З'ЄДНАНЬ	125
5.1 Утворення свердловин у бетоні і залізобетоні	125
5.2 Приготування сумішей і клеїв	132
5.2.1 Приготування епоксидного клею	132
5.2.2 Приготування силоксанового клею	134
5.2.3 Приготування акрилового клею	135
5.2.4 Приготування жорсткої цементно-піщаної суміші	138
5.3 Установка болтів	139
5.3.1 Установка болтів до бетонування фундаментів	139
5.3.2 Установка болтів в існуючі бетонні й залізобетонні конструкції	140
5.3.2.1 Підготовка поверхні бетону свердловин і анкерних болтів	140
5.3.2.2 Установка розклинних анкерних болтів	141
5.3.2.3 Установка конічних анкерних болтів	144
5.3.2.4 Установка анкерних болтів на жорстких цементно-піщаних сумішах	145
5.3.2.5 Установка анкерних болтів за допомогою силоксанових клеїв	148
5.3.2.6 Установка анкерних болтів за допомогою епоксидних клеїв	148
5.3.2.7 Установка анкерних болтів за допомогою акрилових клеїв	149
5.4 Затягування болтів	150
5.5 Контроль якості проведення робіт	153
5.6 Рекомендації з улаштування клейових сталобетонних безанкерних з'єднань	154
5.6.1 Підготовка бетонних поверхонь конструкцій до склеювання	155
5.6.2. Склеювання на горизонтальних бетонних поверхнях	156
5.6.3 Склеювання на вертикальних бетонних поверхнях	158
Питання для самоперевірки до розділу 5	159

6 ВИВІРЯННЯ УСТАТКУВАННЯ І КОНСТРУКЦІЙ	160
6.1 Способи обпирання устаткування на фундаменти	160
6.2 Вивіряння устаткування	160
6.2.1 Вивіряння устаткування за допомогою вивірочних гвинтів.....	163
6.2.2 Вивіряння устаткування за допомогою інвентарних домкратів	163
6.2.3 Вивіряння устаткування на установочних гайках	164
6.2.4 Вивіряння устаткування на твердих бетонних подушках	164
6.2.5 Вивіряння устаткування на пакетах металевих підкладок	165
6.3 Підлива устаткування	166
6.4 Способи обпирання сталевих колон	169
Питання для самоперевірки до розділу 6	171
ВИСНОВКИ	172
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	174

ВСТУП

У цьому навчальному посібнику розглядаються питання конструкції анкерних болтів, їхнього розрахунку і проєктування. Наведено дані про матеріали, з яких виготовляються анкерні болти і за допомогою яких вони зашпаровуються у бетон.

Розглянуто технології установки анкерних болтів у бетон залежно від виду існуючої будівельної конструкції чи під час зведенні її в бетон.

Під час будівництва, експлуатації, реконструкції промислових підприємств доводиться проводити роботи з монтажу й установки на споруджуваних та існуючих фундаментах устаткування, технологічних ліній та інших допоміжних пристроїв. Тому важливе значення має використання раціональних методів кріплення до фундаментів, бетонних чи залізобетонних конструкцій технологічного устаткування та ін., тому що щорічно для цих цілей застосовуються сотні тисяч анкерних болтів. Особливо це відноситься до підприємств металургійної, машинобудівної, гірничорудної, хімічної і деяких інших галузей промисловості.

Від способів виробництва, вивіряння і закріплення анкерних болтів залежать темпи і вартість монтажних робіт, оскільки трудомісткість цих операцій складає до 30–40 % загальної трудомісткості механоскладальних робіт. Висоту фундаменту для багатьох видів устаткування часто визначають довжиною закладення анкерних болтів, що призводить до значної перевитрати бетону і сталі. Крім того, загальноприйнята установка анкерних болтів трудомістка і не гарантує необхідної точності їхнього розташування. Унаслідок цього 19–24 % трудовитрат під час монтажу устаткування припадає на виправлення дефектів встановлених анкерних болтів. Крім того, відсутність уніфікації і взаємозамінності опорних частин устаткування створює великі труднощі під час його модернізації в діючих цехах, оскільки місця установки анкерних болтів нового механізму не збігаються зі старими.

Розробка і впровадження прогресивних методів анкероустановочних робіт і закріплення устаткування є важливим резервом скорочення трудомісткості, матеріалоємкості, тривалості й вартості як будівельних робіт, так і робіт із ремонту і реконструкції промислових підприємств.

Матеріал навчального посібника базується на таких прикладних дисциплінах, як: залізобетонні конструкції, металеві конструкції, будівельні матеріали і технологія будівельного виробництва.

Для полегшення самостійного оволодіння розрахунком анкерних болтів, їхнім проектуванням, а також підбору сумішей для їхнього закладення в посібнику наведені приклади розв'язання відповідних задач.

Незважаючи на широку галузь застосування анкерів, у будівництві існують певні типи бетонних / залізобетонних конструкцій, де улаштування анкерних кріплень категорично не рекомендується.

Необхідною умовою успішного застосування клейових сталобетонних безанкерних з'єднань у будівництві з використанням акрилових модифікованих композицій є рішення комплексної науково-дослідницької проблематики, яка включає дослідження їхньої короткочасної, тривалої і втомної міцності, їхнє проектування, питання технології їхнього улаштування (зокрема приклеювання кріпильних вузлів до бетонної поверхні для кріплення устаткування і різних інженерних комунікацій), дослідно-промислова перевірка в умовах виробництва.

Отже, застосування кріплення виробничого устаткування за допомогою приклеювання кріпильних вузлів акриловими модифікованими клеями у зв'язку зі значними обсягами реконструкції існуючих промислових підприємств і нового будівництва є перспективним й актуальним.

Незважаючи на широку галузь застосування анкерів у будівництві існують певні типи бетонних / залізобетонних конструкцій, де улаштування анкерних кріплень категорично не рекомендується. Це насамперед стосується монолітних залізобетонних перекриттів та покриттів будівель і споруд. Залежно від вихідних технічних параметрів монтованого обладнання, для улаштування кріплень за розрахунком необхідно використовувати розпірні анкери із загальною довжиною, наприклад, 175–232 мм, що або зовсім унеможливорює операцію, або під час проведення монтажу анкерів загрожує певною втратою несучої здатності залізобетонної конструкції. Не рекомендується також свердлилити отвори у збірних залізобетонних багатопустотних плитах перекриття. Висвердлювання отворів у багатопустотній плиті потребує високої точності розрахунків, для того щоб не влучити буром у пустоти. На практиці це ускладнюється невеликою шириною самого ребра між пустотами.

Варто зауважити, що в наш час проблема улаштування безанкерних кріплень інженерних приладів особливо актуальна для технічного персоналу мобільних операторів зв'язку. У великих містах для належного функціонування мережі мобільного та Інтернет-покриття елементи технологічного устаткування (базові станції, трубокостійки, антени тощо) монтуються безпосередньо на покрівлю багатопверхових будівель. Разом із тим основна проблема полягає

у відмові на отримання дозволу на проведення анкерувальних робіт у залізобетонному покритті від власників або від мешканців будинку. Унаслідок цього інженери мають розробляти нові конструктивні рішення щодо монтажу такого обладнання. У разі відмови на проведення анкерувальних робіт у залізобетонному покритті будівлі проєктуються кріплення за допомогою розвантажувальних рам, розпірок, відтяжок та кронштейнів, що призводить до суттєвого підвищення загальної трудомісткості монтажних робіт та до додаткової витрати металу. Інший негативний фактор полягає у тому, що у багатьох випадках, виходячи з конструктивних міркувань, виникає необхідність у проєктуванні спеціальних фундаментів або парапетів, наприклад, для кріплення розвантажувальних рам. Ці конструкції передають суттєве додаткове навантаження на покриття, на яке воно не було заздалегідь розраховано.

Під час монтажу обладнання таким способом також значно скорочуються трудові витрати для улаштування з'єднань, розбирання бетону, буріння свердловин, улаштування хомутів тощо, чим досягається значна економія грошових коштів і трудовитрат.

1 КОНСТРУКЦІЇ АНКЕРНИХ БОЛТІВ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ І БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Конструкції анкерних болтів

Анкерні болти для кріплення будівельних конструкцій і технологічного обладнання за призначенням поділяються на конструктивні й розрахункові (силові) [1, 2, 3, 8, 9, 13, 14, 25, 28, 31, 35, 54, 57, 78, 81, 87, 106]. Конструктивні слугують для фіксації устаткування на фундаментах і для запобігання випадковим зсувам. Їх передбачають для устаткування, стійкість якого проти перекидання, зсуву, чи скручування забезпечується власною вагою. Розрахункові болти сприймають навантаження, що виникають під час роботи технологічного устаткування.

В Україні і за кордоном застосовують анкерні болти найрізноманітніших конструкцій. Вони відрізняються один від одного способами установки у фундаментах чи в інших бетонних і залізобетонних конструкціях, типом анкеруючих пристроїв і способами передачі навантажень на масив фундаменту чи будівельні конструкції (залізобетонні балки, перекриття і т.п.).

Анкерні болти залежно від способу установки підрозділяють на встановлювані в масив фундаменту: до його бетонування (глухі (рис. 1.1) чи з ізолювальною трубою (рис. 1.2); після бетонування у просвердлені свердловини чи в колодязі (шанці) (рис. 1.3) готових фундаментів.

Глухі анкерні болти [8, 9, 13, 14, 25, 35, 40, 53, 54, 57, 62, 81], що встановлюються безпосередньо в масив фундаменту, до його бетонування можуть виконуватися з відгинами, з анкерними плитами, складеними з анкерними плитами та ін. (рис. 1.1). Болти з відгинами, найбільш прості у виготовленні, застосовують, якщо висота фундаментів не залежить від глибини закладення болтів у бетон; болти з анкерними плитами, що мають меншу глибину закладення в бетон порівняно з болтами з відгинами, застосовують, якщо висота фундаменту визначається глибиною закладення болтів у бетон.

Зазначені конструкції болтів, наведені на рисунку 1.1, а, б, е, рекомендується застосовувати діаметром $d_s = 10\text{--}48$ мм; на рисунку 1.1, д – $d_s = 48\text{--}56$ мм, глибиною закладення $l_{анк} = (25 \div 30)d_s$; на рисунку 1.1, в, г – для $d_s = 56\text{--}140$ мм з глибиною закладення $l_{анк} = 15d_s$.

Друга група болтів [8, 9, 13, 14, 31, 35, 40, 53, 54, 57, 81], установлюваних до бетонування фундаментів, подана на рисунку 1.2.

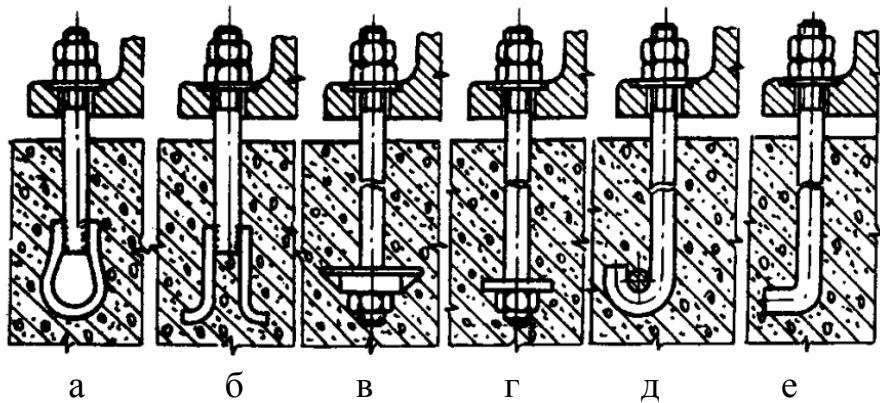


Рисунок 1.1 – Глухі анкерні болти встановлювані до бетонування фундаментів

Конструкції болтів, що зображені на рисунку 1.2, а, б, рекомендуються для застосування з діаметром анкерів $d_s = 56-125$ мм за $l_{анк} = 30d_s$; рисунок 1.2, в – $d_s = 24-66$ мм за $l_{анк} = 15d_s$; рисунок 1.2, г – $d_s = 36-80$ мм за $l_{анк} = 20d_s$.

Болти складені з анкерними плитами (рис. 1.2, в) використовують під час установлення устаткування методом повороту чи насуву. У цих випадках муфту і нижню шпильку з анкерною плитою встановлюють у масив фундаменту під час бетонування, а верхню ввертають у муфту на всю довжину різьблення після установки устаткування через отвори в опорних частинах.

Болти знімні, встановлювані в масив фундаменту з ізолювальною трубою (рис. 1.2, а, б, в, г), можуть виконуватися без елементів, що амортизують, і з елементами, що амортизують, тарілчастими пружинами.

Болти без елементів, що амортизують, складаються із шпильки й анкерної арматури (труби і плити). Анкерну арматуру закладають у фундамент під час бетонування фундаменту, а шпильку встановлюють вільно в трубі після влаштування фундаменту. Болти з елементами, що амортизують, складаються із шпильки, анкерної арматури і тарілчастих пружин, розташованих у нижній частині болта.

Знімні фундаментні болти без амортизуючих і з амортизуючими елементами застосовують для кріплення важкого прокатного, ковальсько-пресового та іншого устаткування, що викликає великі динамічні навантаження, а також у випадках, коли в процесі експлуатації устаткування можлива заміна болтів. Фундаментні болти з елементами, що амортизують, забезпечують міцність з'єднання при менших глибинах закладень болтів у бетон порівняно з болтами без амортизуючих елементів завдяки пружним деформаціям тарілчастих пружин. Водночас необхідно передбачати можливість доступу до нижньої частини болтів.

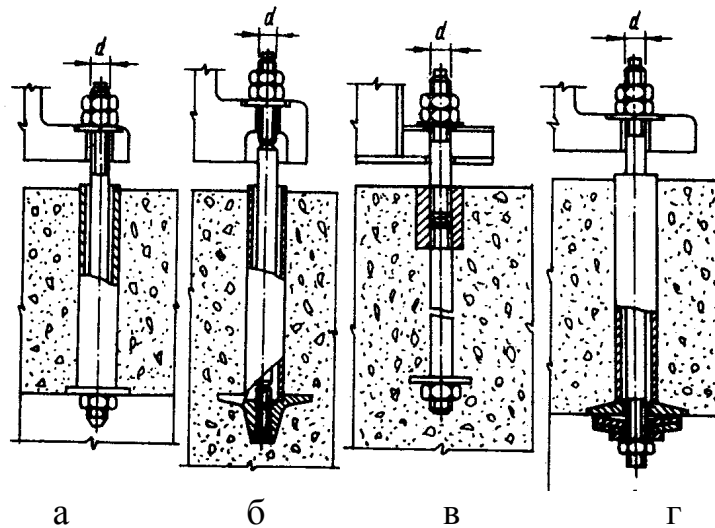


Рисунок 1.2 – Анкерні болти, встановлювані до бетонування фундаментів:
 а, б – знімні в трубчастій обоймі чи в перекритті фундаменту відповідно;
 в – складений з анкерною шайбою; г – знімний з елементами, що амортизують

Знімні болти цієї групи, як указувалося вище, встановлюють у масиві готового фундаменту за допомогою спеціальних конструктивних елементів [13, 14, 27, 28, 31, 52, 81]. Останні закладають у бетон під час зведення фундаментів. Знімні болти встановлюють без наступного заливання цементним розчином. Їх можна встановлювати в трубчастій обоймі (рис. 1.2, а і 1.2, б) за допомогою сполучної муфти (рис. 1.2, в), з елементами, що амортизують, (рис. 1.2, г). Знімні болти цієї групи можна витягувати з кріпильного вузла шляхом відділення анкера від заставної частини. Проте заставні частини встановлюють у масиві фундаменту до його бетонування. Це є істотним недоліком, оскільки установка зазначених конструктивних елементів чи заставних частин вимагає використання складних кондукторних та інших подібних пристроїв для їхнього утримання в проектному положенні. Ці пристрої безповоротно витрачаються при бетонуванні фундаментів. До того ж близько 16 % заставних частин у процесі бетонування збиваються від проектного положення. Це викликає необхідність проведення додаткових ремонтних робіт і, як наслідок цього, подорожчання такого типу кріплення.

Болти, встановлювані в шанцевих колодязях, допускається застосовувати тільки в тих випадках, коли з якихось причин вони не можуть бути встановлені в просвердлені свердловини. На рисунку 1.3 наведені конструкції глухих болтів, встановлюваних у шанцевих колодязях, що утворюються у фундаментах у момент їхнього зведення. Анкерні болти такої конструкції рекомендується застосовувати діаметром $d_s = 10-48$ мм із глибиною закладення $l_{анк} = 25-35d_s$.

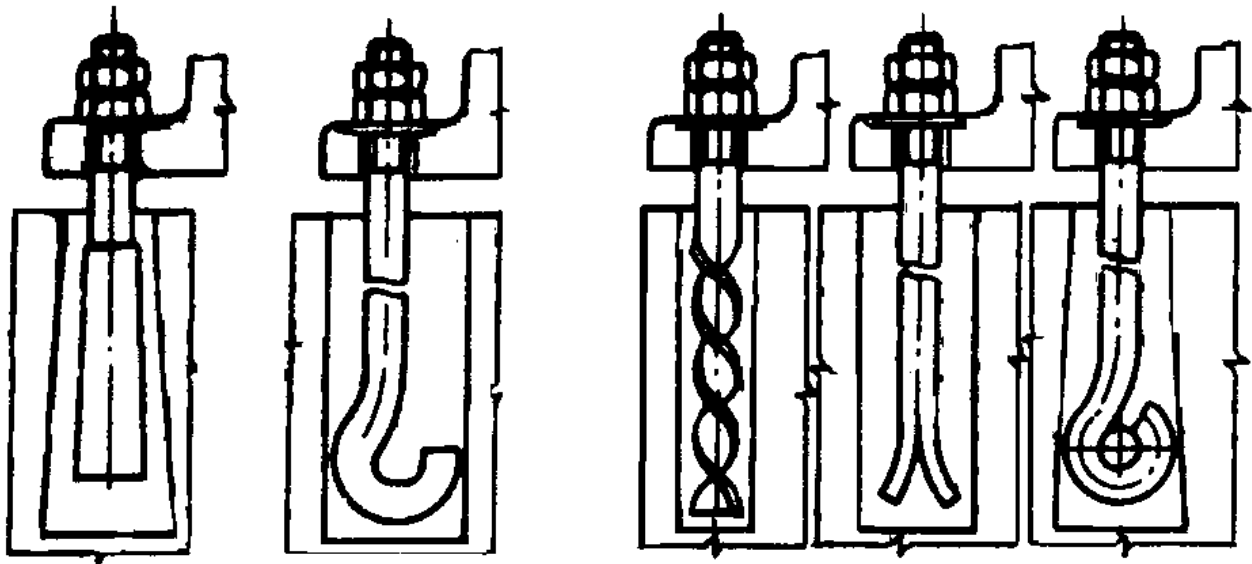


Рисунок 1.3 – Глухі анкерні болти, встановлювані в шанцевих колодязях

Недоліком болтів цієї групи є: висока трудомісткість влаштування шанцевих колодязів, необхідність установки болтів до монтажу устаткування, великі неточності установки, що призводить до додаткових витрат на виправлення, а також значний проміжок часу (4–28 доби) від установки до затягування болтів і прикладання до них навантажень.

Анкерні болти [4–6, 8, 13, 14, 17, 28, 29, 32, 38, 39, 53–61, 71–78, 81, 86–88], встановлювані в готові фундаменти з просвердленими свердловинами, підрозділяються на прямі, що закріплюються за допомогою різних клеїв, конічні, що закріплюються за допомогою цементного закарбування, розпірних цанг і розпірних втулок, і складені з розпірним конусом. Болти з розпірними цангами і розпірними втулками дозволяють вводити кріплення в експлуатацію одразу після установки болтів у свердловини. Болти складені з розпірним конусом застосовують тільки для конструктивного закріплення устаткування.

Анкерні болти цієї групи не вимагають застосування спеціальних кондукторних чи інших підтримувальних пристроїв для утворення шанців і утримання заставних елементів у проектному положенні. Це помітно знижує вартість і трудомісткість анкероустановочних робіт.

Кріплення знімних болтів засновано на заклинюванні болта за допомогою спеціального пристрою в свердловині, пробуреної чи просвердленої в бетоні. Вони одержали назву самоанкерувачних і широко застосовуються як у нас, так і за кордоном. Існує багато конструкцій самоанкерувачних болтів. До них відносяться «ролболт», «дуплексанкер», дюбелі типу ТЕП тощо.

Застосування вказаних вище кріплень дозволяє зменшити глибину закладення болта порівняно з болтами першої групи. Наприклад, глибина закладення «ролболтов» складає до 10 діаметрів. За кордоном анкерні болти розклинюючого типу, наприклад «ролболти», використовують дуже широко [13, 47]. У той же час їхня робота ще не зовсім зрозуміла, тому що невідома площа контакту між сегментом і бетоном. У зв'язку з цим у бетоні можуть виникати значні контактні напруження, що викликають його руйнування. «Ролболти» призначені для кріплення верстатів та іншого устаткування. Вони вставляються в задалегідь підготовлену свердловину у фундаменті. Принцип роботи «ролболтів» виражається в заклинюванні розсувних сегментів при висмикуванні болтів. Діаметр фундаментних болтів такого типу складає від 5 мм до 25 мм. Ці болти встановлюють у фундаментах та інших будівельних конструкціях, виготовлених з бетону марки не нижче 100. Їх використовують переважно для кріплення устаткування, що не сприймає динамічних навантажень.

У будові розклинюючого болта типу «дулексанкер» (рис. 1.4) є розширювальний конус і розсувні щоки [15, 49]. При обертанні болта конус переміщується вгору, губки-сегменти розсовуються і відбувається заклинювання анкерного пристрою в свердловині. Болти такого типу складні у виготовленні, тому їх виготовляють зі стержнем діаметром до 20 мм, що обмежує їхнє застосування.

У Німеччині [3, 28, 81, 91, 97, 107, 120] запропонована подібна конструкція анкерного болта (рис. 1.5), яка відрізняється тим, що при затягуванні болта конуси входять у розтискний елемент із торців.

Англійський варіант болтового кріплення [78, 81, 95] також заснований на роботі клина (рис. 1.6). Клиновий анкер забезпечує надійну роботу, оскільки тиск на стінки свердловини передається всією поверхнею щитків і в одній площині. Це дозволяє встановлювати болти на невеликому видаленні від обріза фундаменту.

За кордоном також широко застосовують анкерні дюбелі, встановлювані в отвори, що просвердлюються [78, 81, 91, 95, 97, 98, 99, 101, 107, 121].

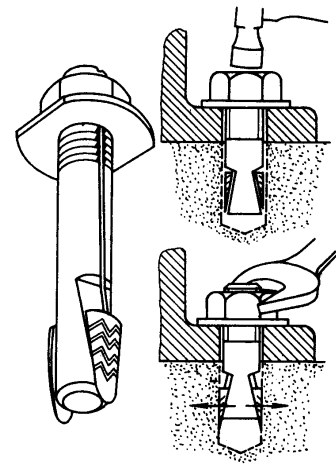
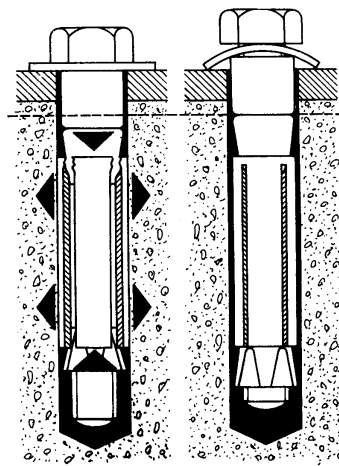
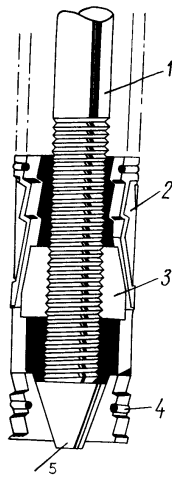


Рисунок 1.4 – Розклинюючий анкер типу «дулексанкер»:
 1 – стержень; 2 – сегменти;
 3 – гайка-розширник;
 4 – пружинне кільце;
 5 – розширювальний конус

Рисунок 1.5 – Двоконусний анкерний болт

Рисунок 1.6 – Клиновий анкерний болт

Вони розширюються біля дна отвору шляхом розклинення насаджуваною конічною пробкою. Деякі типи дюбелів («дріланкер», самі свердлять отвори. Для цього використовуються зубці на порожній частині дюбеля. Дюбель виготовляють із високоякісної сталі і піддають термообробці. До його недоліків відносяться висока вартість виготовлення, труднощі з установкою в залізобетоні та обмежений діаметр (до 16 мм).

Крім описаних вище типів самоанкерувачих болтів, поширеніє ущільнювальні анкери (рис. 1.7) [72, 81, 122] діаметром до 32 мм і глибиною закладення 10 діаметрів болта. Їх рекомендується встановлювати в місцях із підвищеним змістом води. Ущільнювальні анкерні болти складаються із загартованих сталевих сегментів і циліндричної та свинцевої голівки, що сприяє розвальцьовуванню сталевих сегментів і врізанню їх у стінки свердловини. Для збільшення надійності кріплення на болт надягають кілька ущільнювальних сегментів.

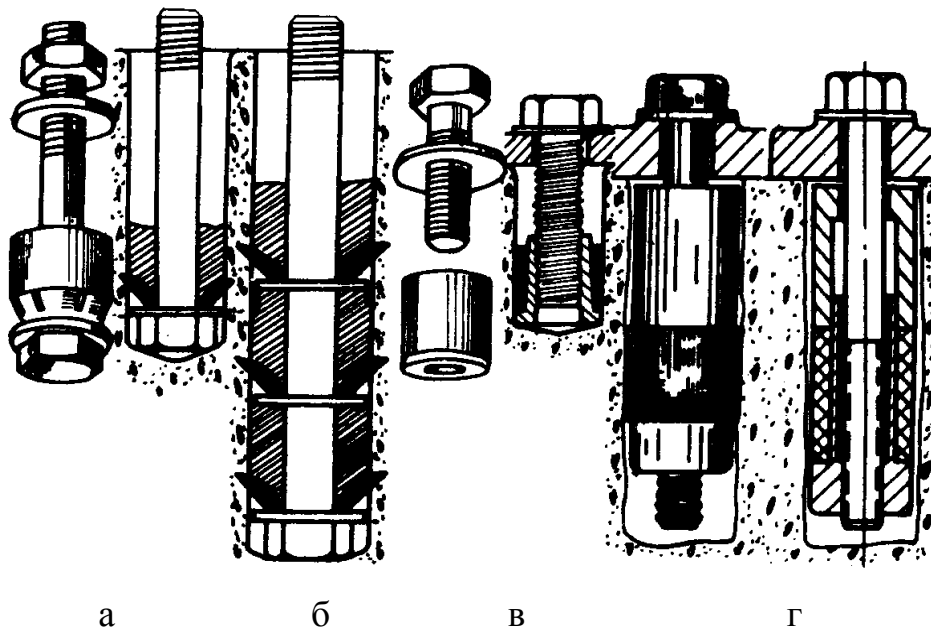


Рисунок 1.7 – Ущільнювальні анкери: а – з однією циліндричною втулкою; б – з декількома; в – із конічною гайкою; г – із гумовою втулкою

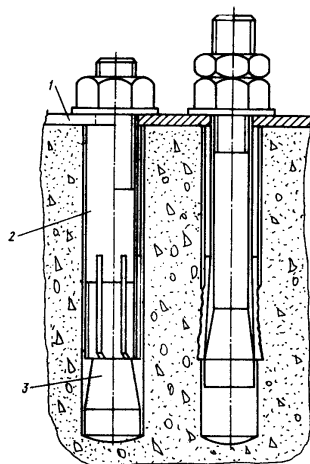


Рисунок 1.8 – Розклинюючий анкер типу ТЭП:

- а – перед заклинюванням;
- б – після заклинювання;
- 1 – устаткування, що закріплюється; 2 – трубка з прорізами; 3 – болт

Розклинювальні анкери [1, 2, 3, 13, 14, 28, 78, 81, 123] розроблені декількох типів (рис. 1.9). Наведені на рисунку 1.9, а, б анкери складаються з конічної шпильки і розширювальної трубки з прорізами. Інші типи анкерів (рис. 1.9, г, д) становлять дюбелі. У них анкер, що має циліндричну трубку, насаджується на конусну пробку.

Відзначимо, що розклинюючі анкери типів ТЗП мають незначну площу контакту з бетоном у свердловині, що може призвести до змінання бетону в місцях контакту.

Самоанкерувачні конічні болти [13, 14, 28, 57, 60, 78, 81, 124] відрізняються від наведених вище тим, що їхні цанги усією зовнішньою поверхнею прилягають до бетону. Це забезпечує високу надійність роботи болтів. Самоанкерувачний болт (рис.1.10)

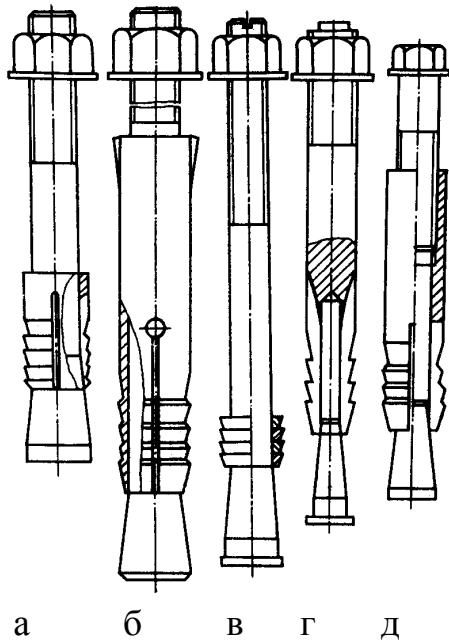


Рисунок 1.9 – Розклинюючі анкери, розроблені ВНДІмонтаж-спецбуд:

а, б – із конічною шпилькою і розширювальною трубкою з прорізами; в – із конічною шпилькою з розрізними кільцями; г, д – із розширювальним конусом і циліндричною трубкою (дюбелем)

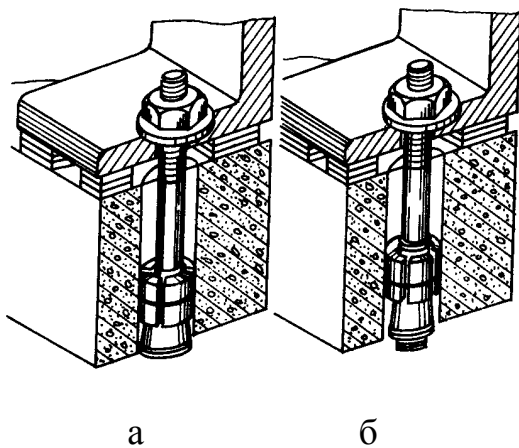


Рисунок 1.10 – Самоанкерувачні конічні болти, розроблені в НДІЖБ:
а – з цангами і конічною шпилькою;
б – з цангами і конічною гайкою

складається зі стержня з конічною нижньою частиною і цанг, стягнутих пружним кільцем. Конічні частини стержня і внутрішньої поверхні цанг мають однаковий кут нахилу, що дорівнює $5-7^{\circ}$. При затягуванні болта конічна частина стержня, переміщаючись, розсовує цанги, у результаті чого відбувається заклинювання болта в свердловині. Ці болти менш металоємкі і прості у виготовленні, ніж болти, конструкції яких наведені раніше.

Знімні самоанкерувачні болти всіх типів можна експлуатувати відразу після установки і затягування. Крім того, їх можна витягувати з конструкції і повторно використовувати. До цих болтів не відносяться дюбелі.

Основними недоліками всіх знімних самоанкерувачних болтів є висока трудомісткість, складність і дорожня виготовлення. Крім того, для установки таких болтів необхідно бурити чи свердлити свердловини високої точності. Припустимі відхилення по діаметру болта складають $0,5-2$ мм.

Цих недоліків позбавлені глухі болти (рис. 1.11), встановлювані в пробурені чи просвердлені в конструкціях свердловини і закріплювані синтетичними клеями, твердими цементно-піщаними сумішами і цементними розчинами. До цих болтів відносяться самоанкерувачні конічні болти із закарбуванням цементним розчином (рис. 1.11, а). Глибина їхнього закладання складає 10 діаметрів болта. Застосовувати їх рекомендується з діаметром різьблення від $M12$ до $M42$.

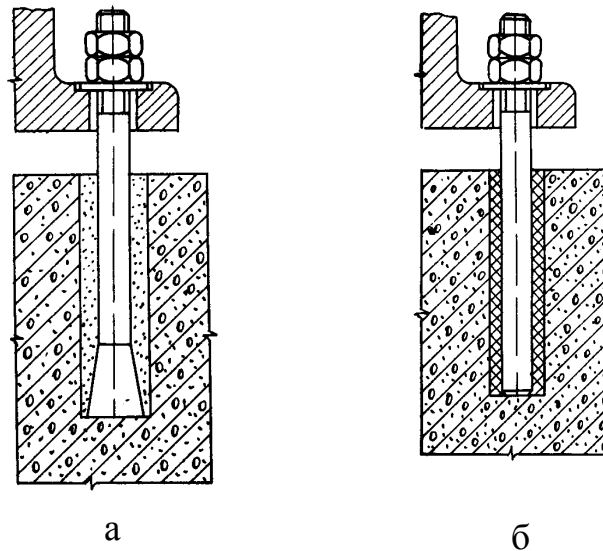


Рисунок 1.11 – Глухі анкерні болти, встановлювані в отвори чи свердловини:
 а – конічні із закарбуванням цементним розчином; б – гладкі на клеях
 чи жорстких цементно-піщаних сумішах

На рисунку 1.11, б наведені глухі болти, що закладаються в бетон на клеях (силоксанових, епоксидних і акрилових) і жорстких цементно-піщаних сумішах. Глибина їхнього закладення коливається від 8 діаметрів до 10 діаметрів болта [4, 5, 6, 16, 28, 32, 35, 43, 44, 45, 51, 56, 57, 58, 59, 67, 71, 73, 74, 81, 82, 83, 86, 90, 99, 103, 106]. ДСТ 24379.0 рекомендують застосовувати анкерні болти з діаметром різьблення від М12 до М42. Але значна кількість експериментів [32, 33, 43, 44, 45, 51, 64, 67, 83, 85] показала, що болти на акрилових клеях можна також застосовувати до діаметра різьблення М56.

1.2 Види обпирання устаткування на фундаменти

Залежно від конструкції обпирання устаткування на фундамент розрізняють три [13, 14, 28, 57, 125] види стиків «фундамент – устаткування» (рис.1.12).

Опорні елементи, установлені між фундаментом і опорною частиною станини устаткування, слугують також для компенсації неточності розмірів і позначок готових фундаментів під час установлення устаткування в проєктне положення.

Під час застосування конструкції стику виду 1 (рис. 1.12, а) монтажні й експлуатаційні навантаження на фундамент передаються через окремі елементи (підкладки), використовувані як постійні опори, підлива ж має допоміжне призначення. При конструкції стиків виду 2 чи 3 (рис. 1.12, б, в) експлуатацій-

ні навантаження передаються на фундамент відповідно через бетонну підливу чи через вивірену поверхню фундаменту.

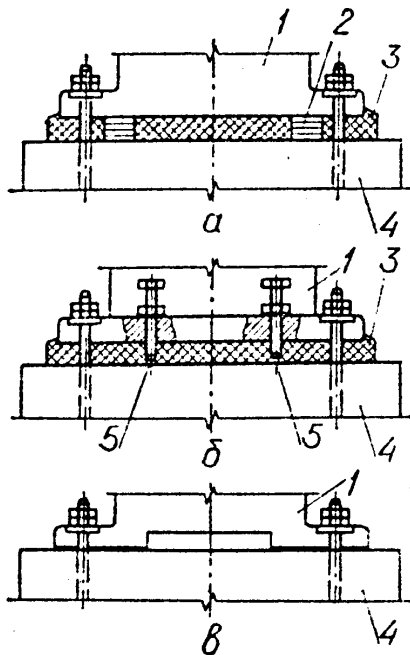


Рисунок 1.12 – Конструкції стиків «фундамент – устаткування» з опиранням устаткування:
 а – на металеві пакети (підкладки);
 б – на бетонну підливу при «безпідкладковому» методі монтажу устаткування; в – безпосередньо на фундамент; 1 – устаткування; 2 – металеві підкладки (пакети); 3 – бетонна підлива; 4 – фундамент; 5 – регульовальні (установні) болти

Під час закріплення устаткування на фундаментах повинні переважно застосовуватися безпідкладкові методи монтажу.

Товщина шару підливи під устаткування при безпідкладковому монтажі допускається в межах 50...80 мм.

За наявності на опорній поверхні устаткування ребер жорсткості зазор приймають від низу ребер.

Підлива виступає за опорну поверхню устаткування не менше ніж на 100 мм, а її висота має бути більше висоти основного шару підливи під устаткування не менше ніж на 30 мм і не більш товщини опорного фланця устаткування.

Клас бетону чи розчину при підливі устаткування повинен прийматися не нижче класу бетону фундаменту, а за безпідкладкових методах монтажу – на один ступінь вище.

1.3 Матеріал анкерних болтів

Марка сталей розрахункових болтів, експлуатованих при розрахунковій зимовій температурі зовнішнього повітря до $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ включно, повинна призначатися відповідно до вказівок таблиці 1.1. Конструктивні фундаментні болти у всіх випадках повинні виготовляти зі сталі марки ВСтЗкп2 за ДСТ 380-71*.

Розрахункові фундаментні болти для кріплення устаткування виготовляють з вуглецевої сталі ВСтЗпс2 за ДСТ 380-71* чи з конструкційної марки Ст20 за ДСТ 1050-74**.

При розрахунковій зимовій температурі зовнішнього повітря $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище допускається застосовувати болти діаметром 56 мм і більше з низьколегованої сталі марок 09М2С-2 і 10М2С1-2 за ДСТ 19281-73*.

Таблиця 1.1 – Марка сталей розрахункових фундаментних болтів
(ДСТ 24379.0-80)

Розрахункова зимова температура зовнішнього повітря, °С	- 40 °С і вище	Від -40 °С до -50 °С	Від -51°С до -65 °С включно
Марка сталі	ВСтЗкп2, ВСтЗпс2, Ст20	09Г2С-6, 10Г2С1-6	09Г2С-8, 10Г2С1-8

Для кріплення судин і апаратів, призначених для обробки і збереження вибухонебезпечних продуктів, а також для кріплення апаратів колонного типу за розрахункової температури повітря до -30 °С включно використовують сталь марки ВСтЗпсЗ (замість ВСтЗпс2), від -31°С до -40 °С – марки Ст20 за ДСТ 1050-74**.

За розрахункової температури до -65 °С низьколеговані марки сталей 09М2С-8 і 10М2С1-8 повинні мати ударну в'язкість не нижче 30 Дж/см².

1.4 Аналіз основних конструкцій кріплення виробничого устаткування, комунікацій та технологічного обладнання

Для розроблення та проектування клейового безанкерного з'єднання були зібрані дані про розповсюджені типи кріплень різного технологічного обладнання та комунікацій до бетонних і залізобетонних конструкцій (фундаментів, підлог, плит перекриття та інших типів конструкцій) [17–32, 126].

На рисунках 1.13–1.17 представлені найбільш характерні типи кріплення електротехнічного обладнання та розводок електрокабелів. На цих рисунках також наведені навантаження, які діють на кріплення.

На рисунку 1.18 та рисунку 1.19 подані найбільш характерні закладні деталі, за допомогою яких кріпляться трубопроводи до бетонних і залізобетонних конструкцій. На них показані характер і величини навантажень, які діють на закладні деталі.

Аналіз наведених вище даних говорить про те, що монтаж різного технологічного устаткування та інженерних комунікацій цілком може здійснюватися за допомогою приклеювання сталевих опорних елементів обладнання до поверхні бетонних і залізобетонних конструкцій певними технологічними клейовими складами.

Розгляд випадків монтажу і прокладання трубопроводів, електрокабелів, різноманітного електротехнічного і технологічного устаткування говорить про те, що на вузли кріплення можуть діяти зусилля відриву і стиску (рис. 1.15, а; 1.15, б; 1.16, б; 1.18, а; 1.18, б), а також зусилля зсуву, сумісна дія згинального моменту та зусиль зсуву, сумісна дія крутного моменту та зусиль зсуву, сумісна дія зусиль відриву та зсуву (рис. 1.13; 1.14; 1.15, в; 1.16, а; 1.17).

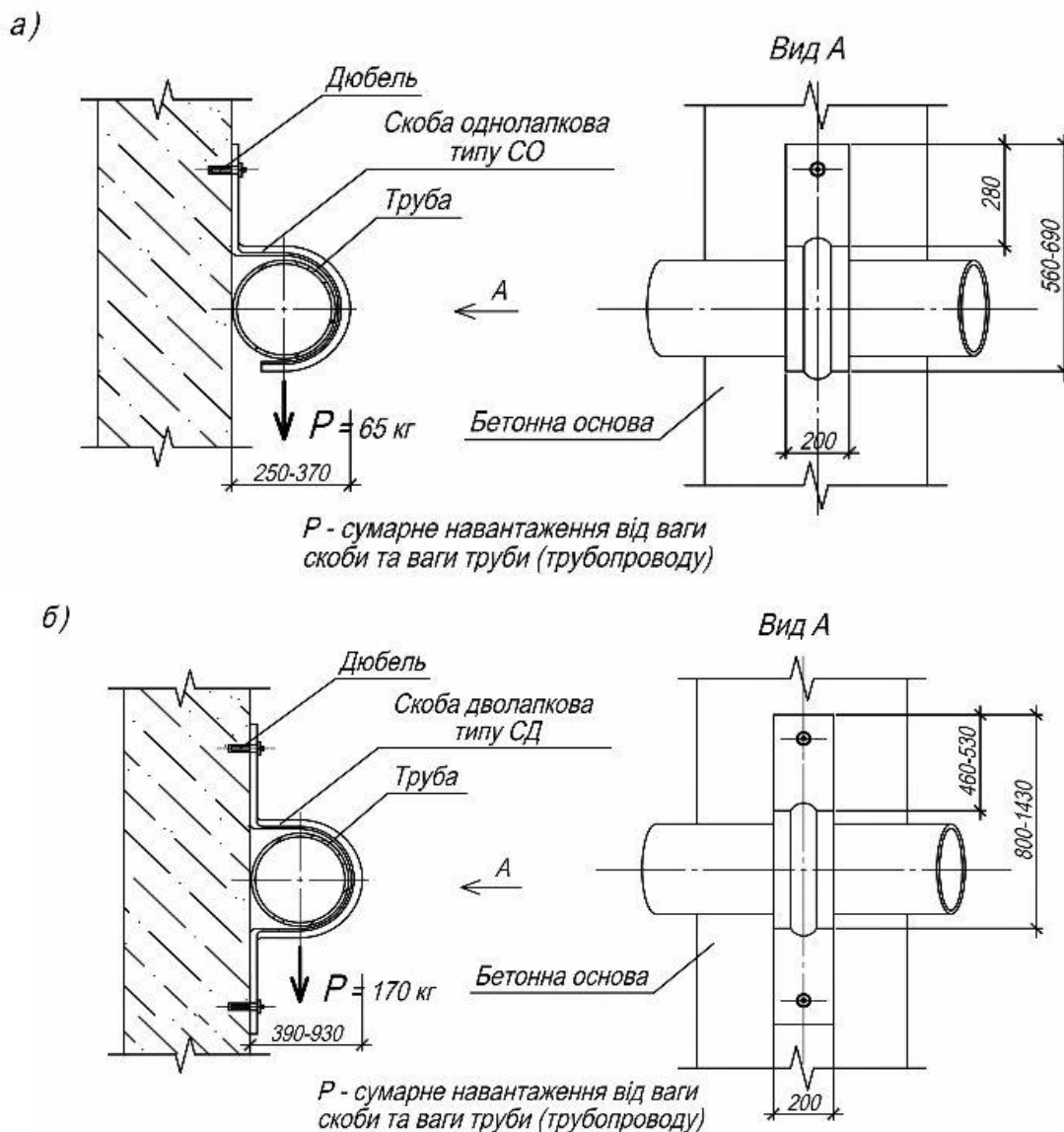


Рисунок 1.13 – Схеми кріплення опорних промислових скоб:
а – скоб однолапкових типу СО; б – скоб дволапкових типу СД

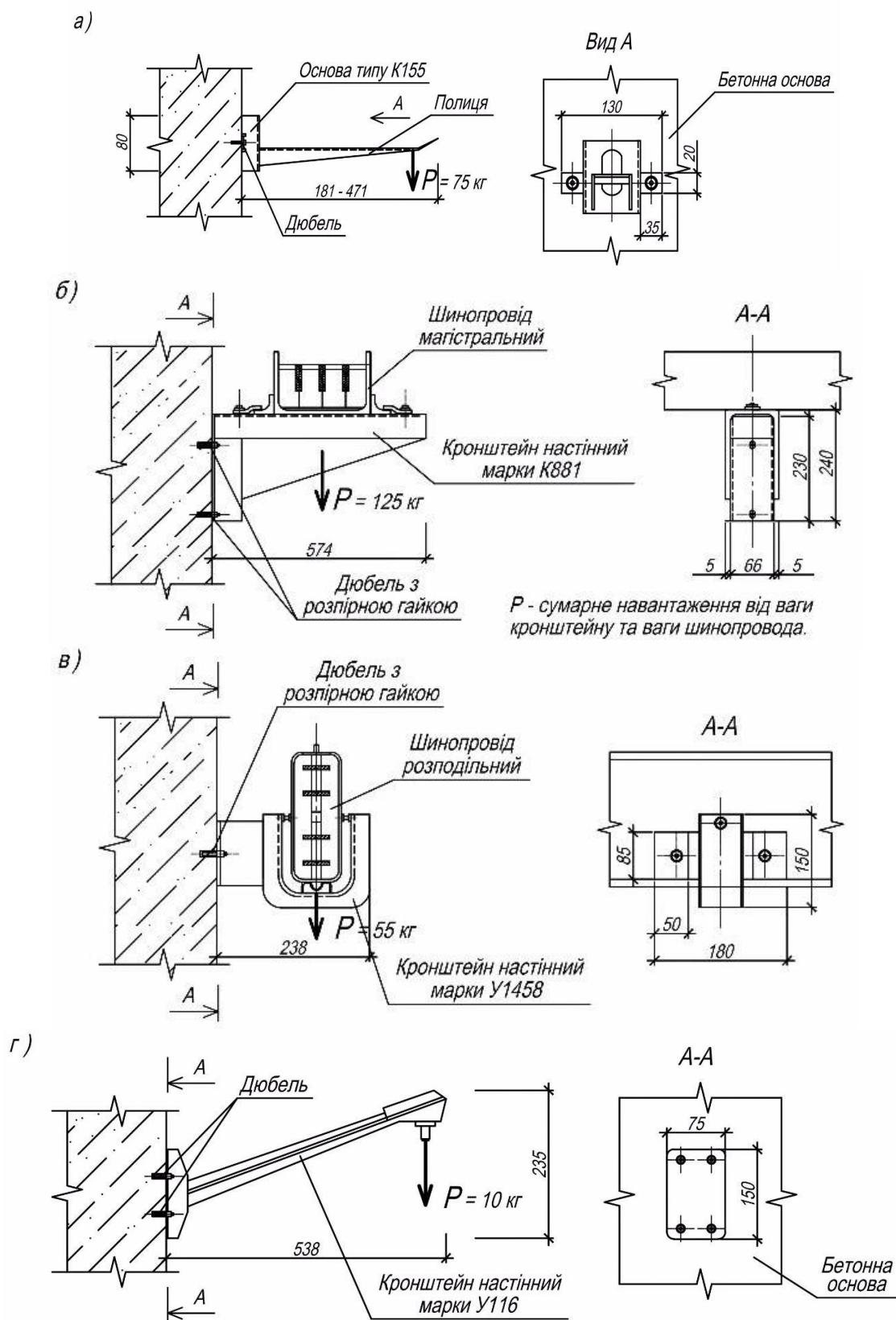
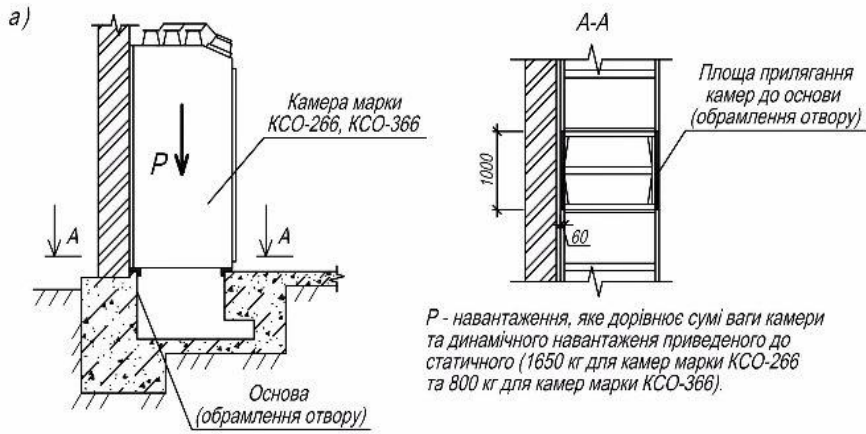
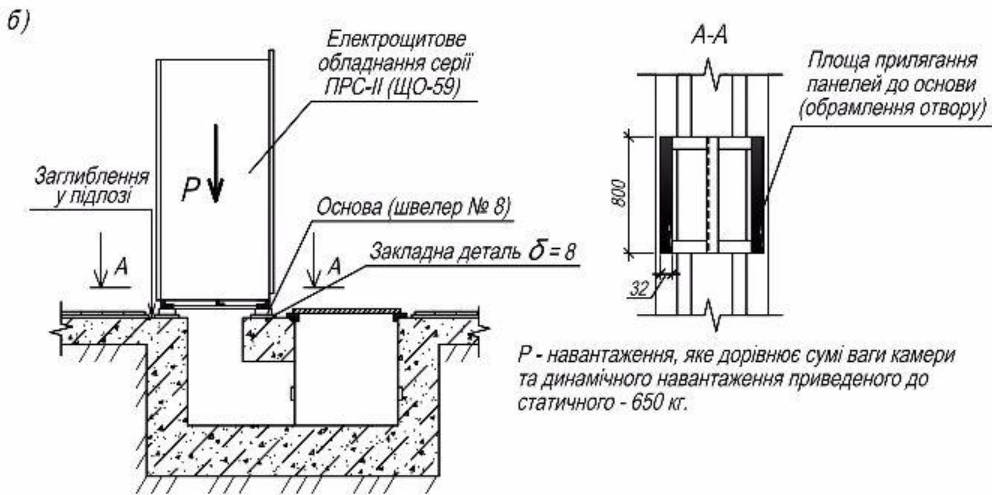


Рисунок 1.14 – Схеми кріплення промислових настінних кронштейнів (основ):
 а – основа типу К155 під прокладання електрокабелів; б – кронштейн марки К881; в – кронштейн марки У1458; г – кронштейн марки У116



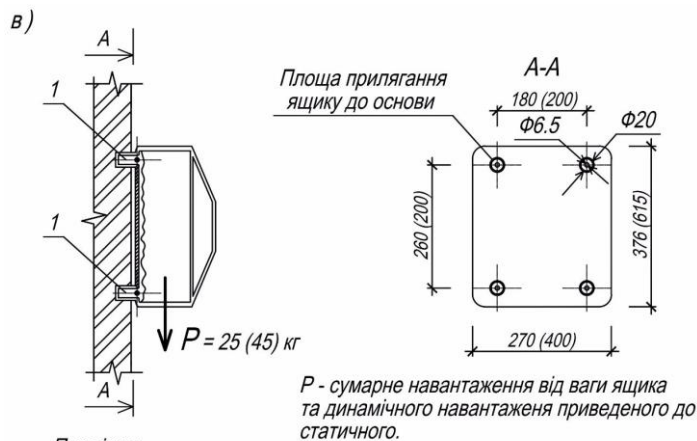
Примітки:

1. Основа (ст. кутова № 6, 3 та швелер № 12) закладена по всьому периметру отвору.
2. Камера марки КСО приварюється до основи у чотирьох точках по кутам.
3. Основа камери виконана із листового куточка із шириною полиці 60 мм.



Примітки:

1. Основа (швелер) прокладена по всьому периметру отвору.
2. Основа панелі виконана із листового куточка із шириною полиці 30 мм.
3. Панель приварюється до основи в чотирьох точках по кутам.
4. Після установки панелі, заглиблення у підлозі зовні щита заливається цементним розчином.



Примітки:

1. 1 - дюбель з розпірною гайкою;
2. Розміри, які вказані у дужках, наведені для силових ящиків типу ЯПБВУ.

Рисунок 1.15 – Схеми установки силового електротехнічного обладнання:
а – камер трансформаторних марки КСО-266 (КСО-366); б – щитів постійного току серії ПРС (ЩО59); в – силових ящиків типу ЯПБВУ-1м (ЯПБВУ)

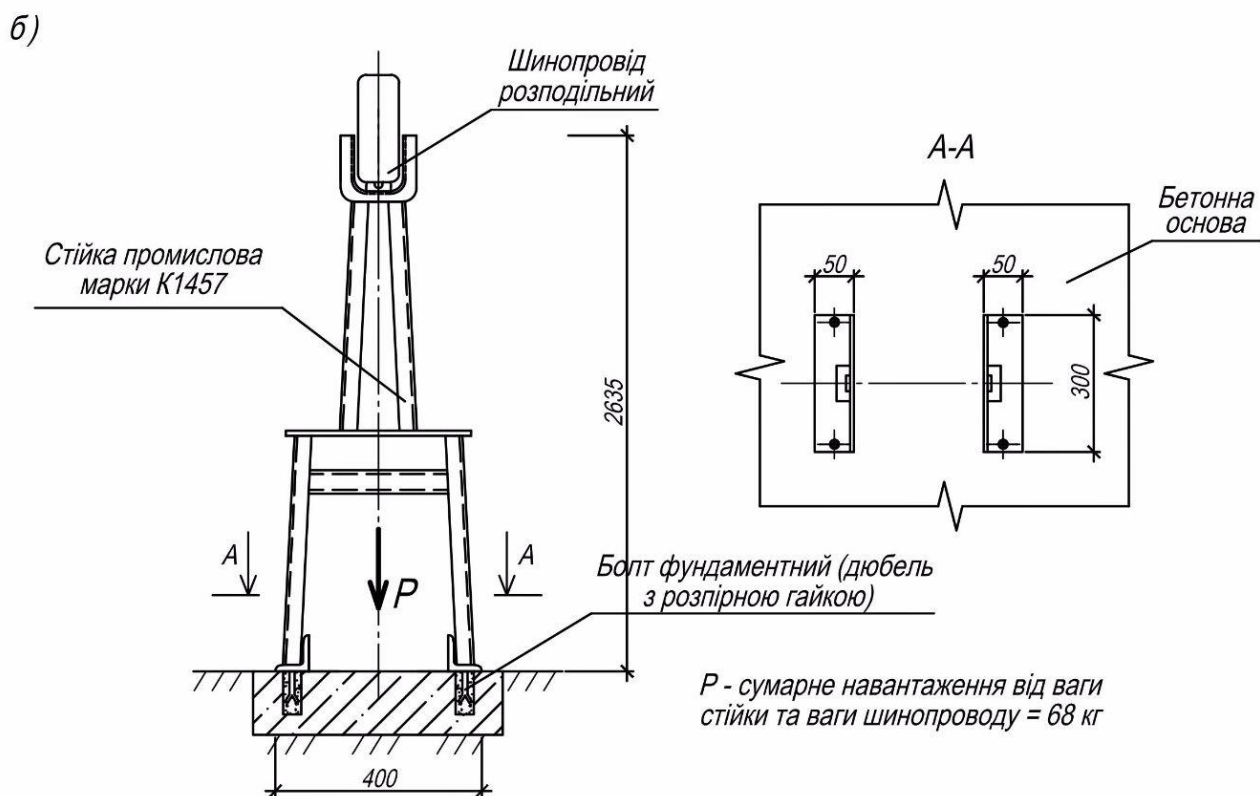
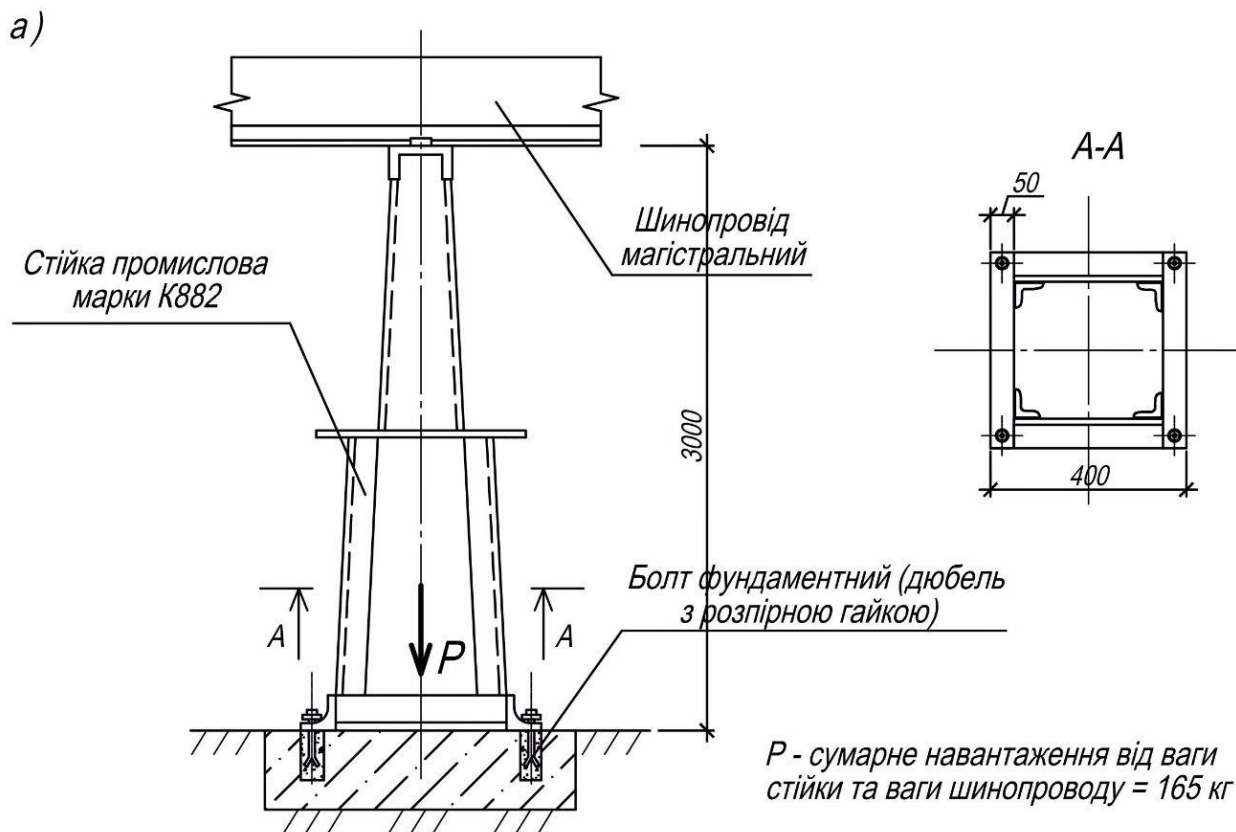


Рисунок 1.16 – Схеми кріплення силового електротехнічного обладнання:
 а – стійка промислова маркування K882 під магістральний шинопровід;
 б – стійка промислова маркування У1457 під розподільний шинопровід

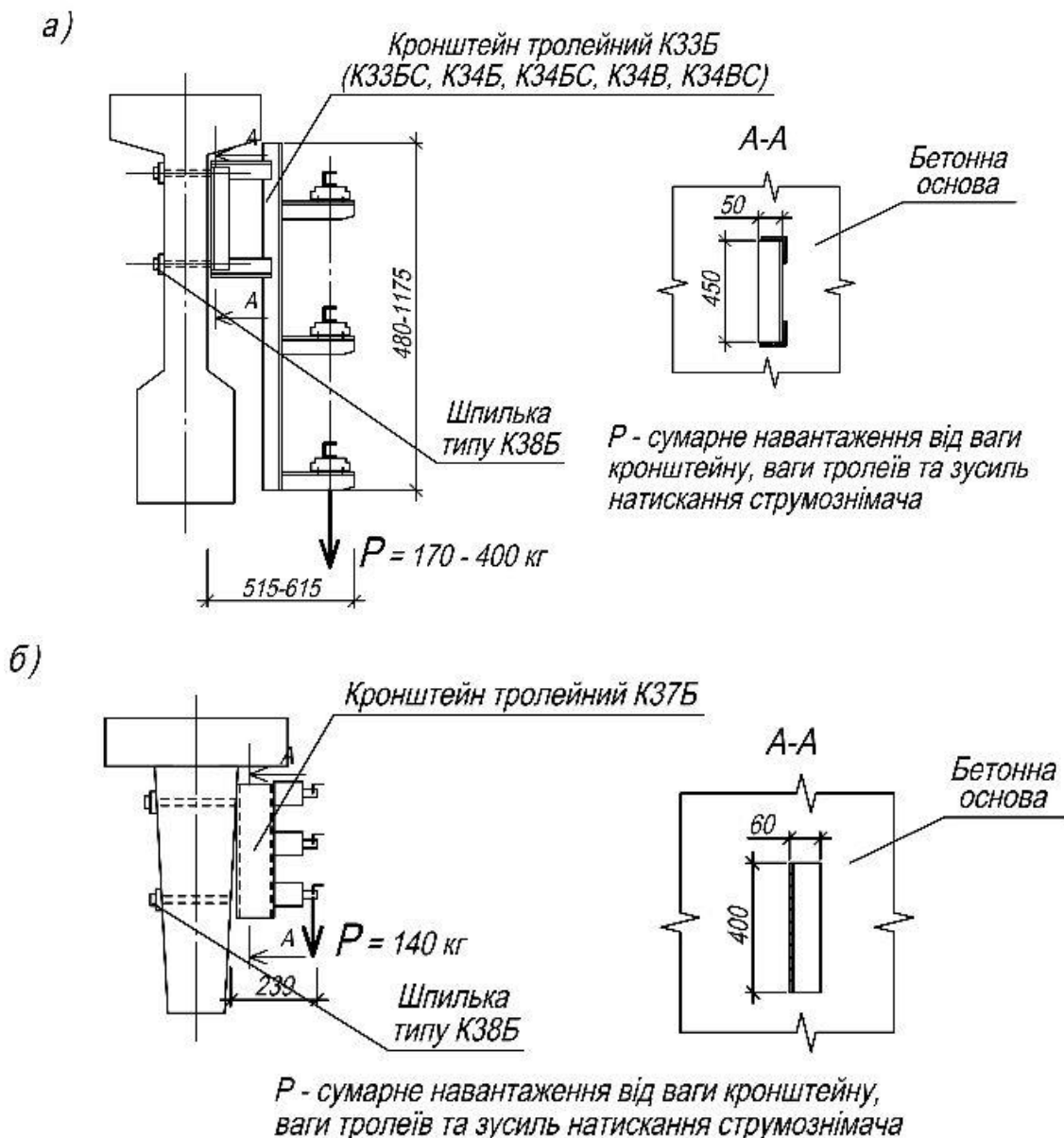


Рисунок 1.17 – Схеми установки тролейних кронштейнів (провідників):
 а – кронштейнів тролейних марки К33Б (К33БС, К34Б, К34БС, К34В, К34ВС);
 б – кронштейнів тролейних марки К37Б

Детальне вивчення традиційних кріплень також показує, що на кріпильні вузли діють такі види навантажень. Зокрема, на рисунку 1.20 представлені типи конструкцій кріплення технологічного обладнання до фундаментів за допомогою приклеювання кріпильних вузлів (рис. 1.20, а), або безпосередньо при-клеюванням опорних частин устаткування (рис 1.20, б). У цьому випадку на кріпильний вузол і клейове з'єднання діє центрально-докладане зусилля. У випадку приварювання кріпильного болта до сталевій пластини із деяким умовним ексцентриситетом e на клейове з'єднання, зі свого боку, можуть впливати позацентрово-докладані зусилля.

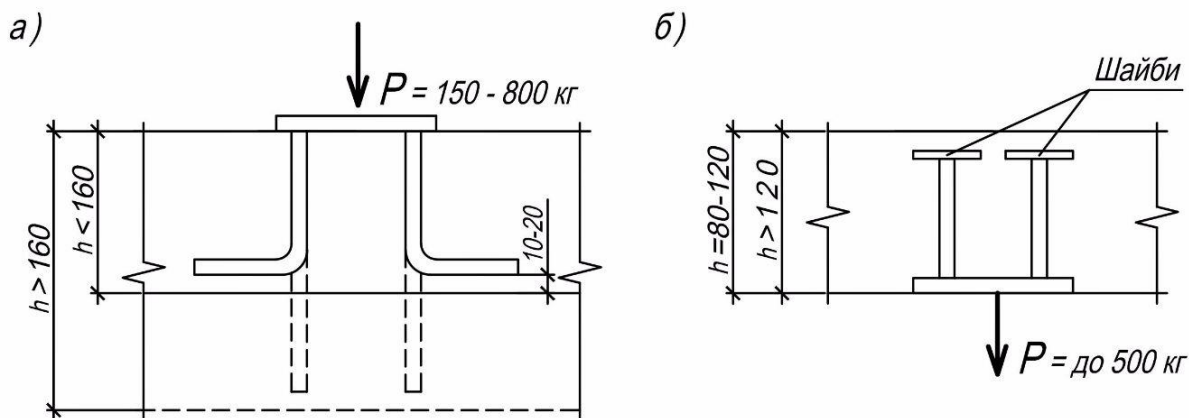


Рисунок 1.18 – Металеві закладні елементи:
а – під навантаження стиску; б – під навантаження відриву

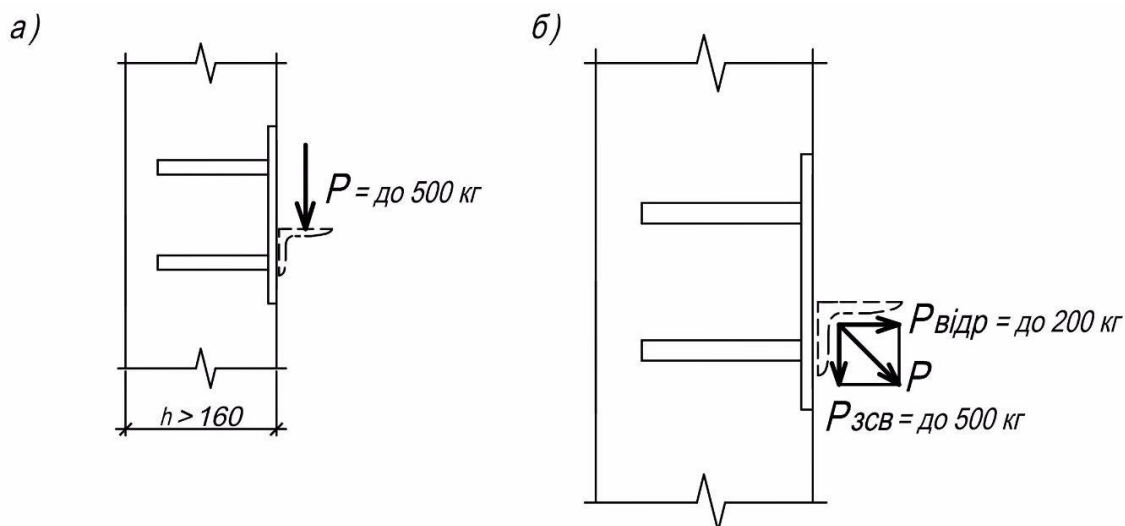


Рисунок 1.19 – Металеві закладні елементи:
а – під навантаження зсуву; б – під сумісну дію навантажень відриву та зсуву

Кріплення інженерних комунікацій (трубопроводів різної конфігурації, розводок кабелів, електротехнічних ліній) може здійснюватися за двома основними схемами:

- 1) закладення / приклеювання кріпильних вузлів до поверхні бетону, а потім підвішування комунікацій;
- 2) кріплення шляхом горизонтального закладення сталевих конструкцій, що несуть навантаження, з подальшим монтажем комунікацій.

Для утримання кріпильних вузлів на вертикальній поверхні бетону, до закінчення затвердіння клею, можуть використовуватися спеціальні утримувальні пристрої. Геометрична незмінність положення приклеєних кріпильних вузлів забезпечується такими утримувальними пристроями: підпорками, пробками із гіпсу або в'язкими матеріалами (скляна замазка, пластилін тощо),

умовними спеціальними утримувальними пристроями. Спеціальні утримувальні пристрої становлять смужки з щільної тканини шириною 30–50 мм (наприклад із брезенту), попередньо наклеєні на бетонну поверхню.

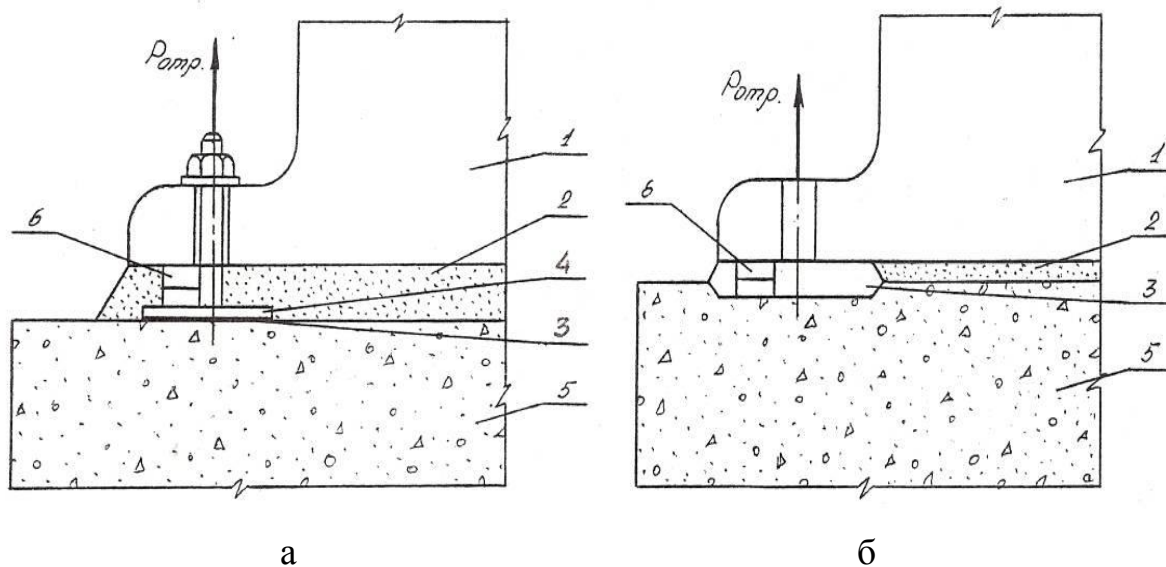


Рисунок 1.20 – Монтаж обладнання методом поверхневої приклейки:
 а – кріпильного вузла; б – опорної частини; 1 – обладнання; 2 – підливка;
 3 – клейовий шар; 4 – кріпильний вузол; 5 – фундамент;
 6 – монтажні підкладки

Приведений аналіз випадків дії навантажень на кріпильні вузли інженерних комунікацій та технологічного обладнання, зі свого боку, визначив необхідні подальші експерименти із дослідження короточасної міцності клейових сталобетонних з'єднань.

1.5 Конструкції кріплення промислового устаткування та комунікацій клейовим безанкерним методом

Аналіз експериментальних досліджень [9, 13, 14, 31, 35, 40, 53, 54] говорить про високу надійність клейового сталобетонного з'єднання на акрилових модифікованих клеях. Це клейове з'єднання може бути успішно використано для безанкерного кріплення виробничого устаткування, різних типів комунікацій і технологічних ліній до бетонних / залізобетонних будівельних конструкцій.

Існують типи конструкцій кріплення обладнання до фундаментів методом приклеювання вузлів кріплення (рис. 1.20, а) або безпосередньо приклею-

ванням сталевих опорних плечей технологічного обладнання (рис. 1.20, б). У цьому випадку на кріпильний вузол та клейове з'єднання діють центрально-докладені зусилля відриву. У разі приварювання кріпильного болта з деяким ексцентриситетом на клейове безанкерне з'єднання може впливати позацентрово-докладене зусилля відриву.

Детальний аналіз різних випадків монтажу та прокладання трубопроводів дозволяє рекомендувати два випадки їхнього установлення на кріпильних вузлах: перший випадок – це обпирання трубопроводів на вузли кріплення (рис. 1.21), другий – підвішування (рис. 1.22).

У разі обпирання трубопроводів на вузли кріплення можуть впливати згинальний момент сумісно з силами зсуву (рис. 1.21, а), а також крутний момент сумісно з силами зсуву (рис. 1.21, б).

У другому випадку – на клейове кріплення можуть впливати сумісно сили відриву та зсуву (рис. 1.22, а), та згинального моменту сумісно з зсувом (рис. 1.22, б).

Під час монтажу електрокабелів та технологічних комунікацій може бути два випадки кріплення конструкцій електрокабельної розводки: через кріпильний вузол (рис. 1.23, а), або безпосередньо приклеюванням (рис. 1.23, б). У першому випадку на вузли кріплення сумісно впливають зусилля відриву та зсуву (рис. 1.23, а), а у другому випадку – зусилля зсуву (рис. 1.23, б).

Детальний аналіз наведених конструкцій кріплення промислового устаткування та технологічних ліній методом поверхневого приклеювання опорних сталевих вузлів ліній, а також зусиль, які впливають на безанкерні клейові сталобетонні з'єднання, дозволяє скласти їхні основні розрахункові схеми (рис. 1.24).

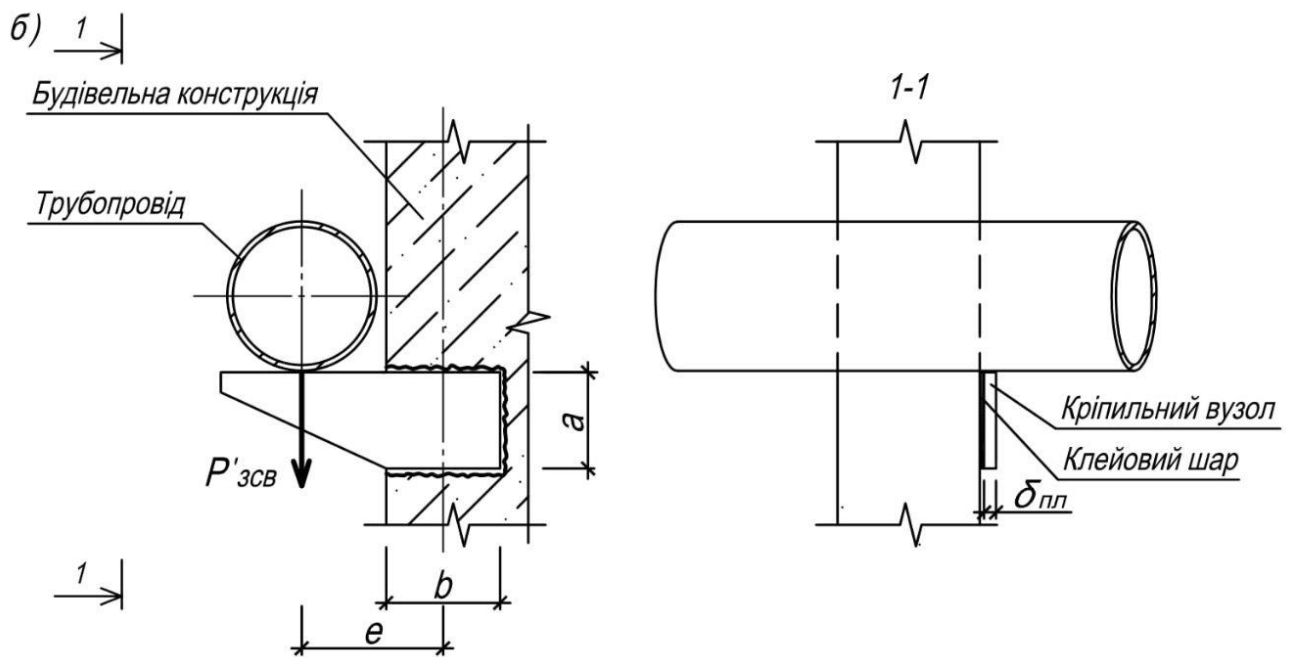
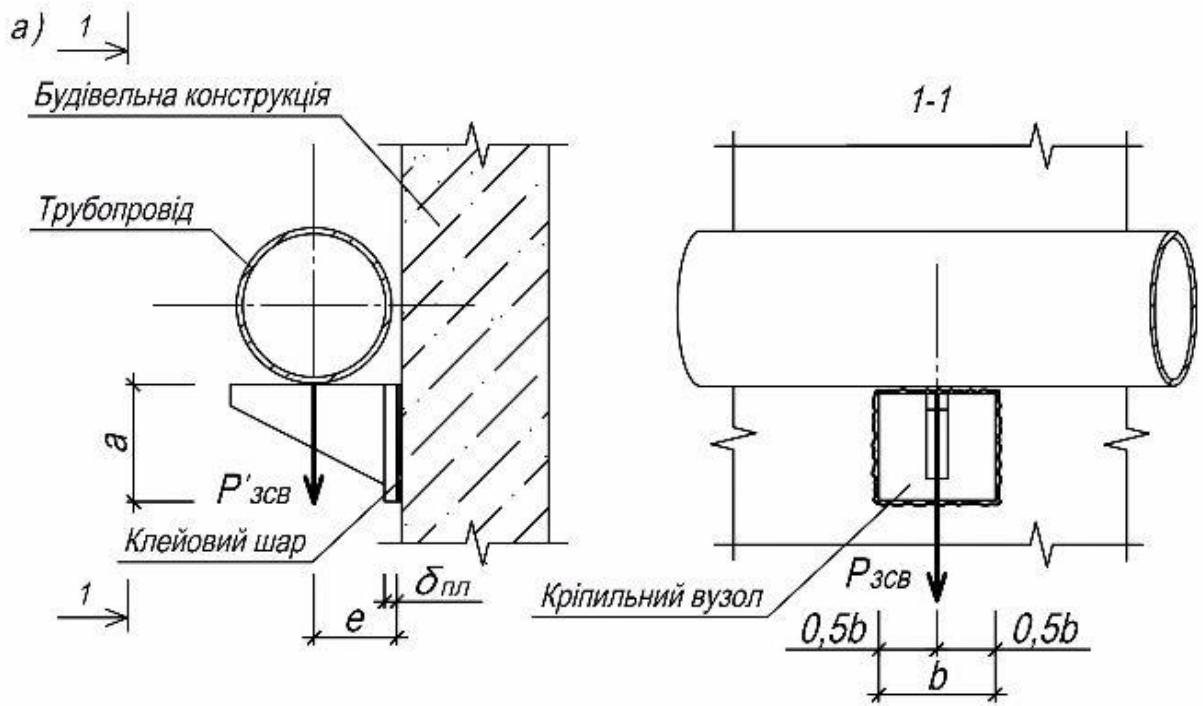


Рисунок 1.21 – Обпирання промислових трубопроводів на кріпильний вузол:
 а – за впливу на кріплення згинального моменту сумісно з силами зсуву;
 б – за впливу на кріплення крутного моменту сумісно з силами зсуву

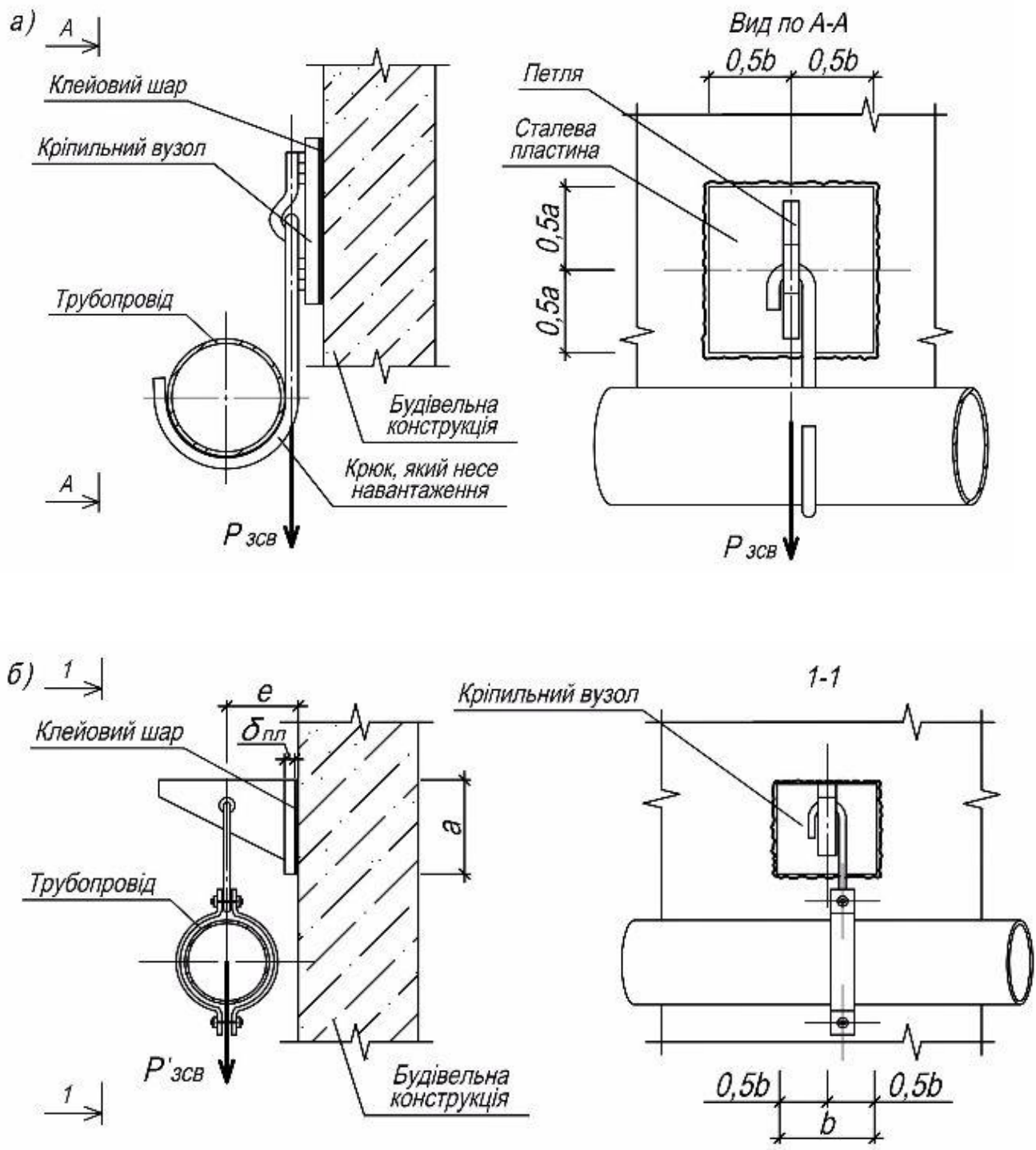


Рисунок 1.22 – Підвішування промислових трубопроводів на кріпильний вузол:

а – за впливу на кріплення сил відриву та зсуву; б – за впливу на кріплення згинального моменту сумісно з силами зсуву

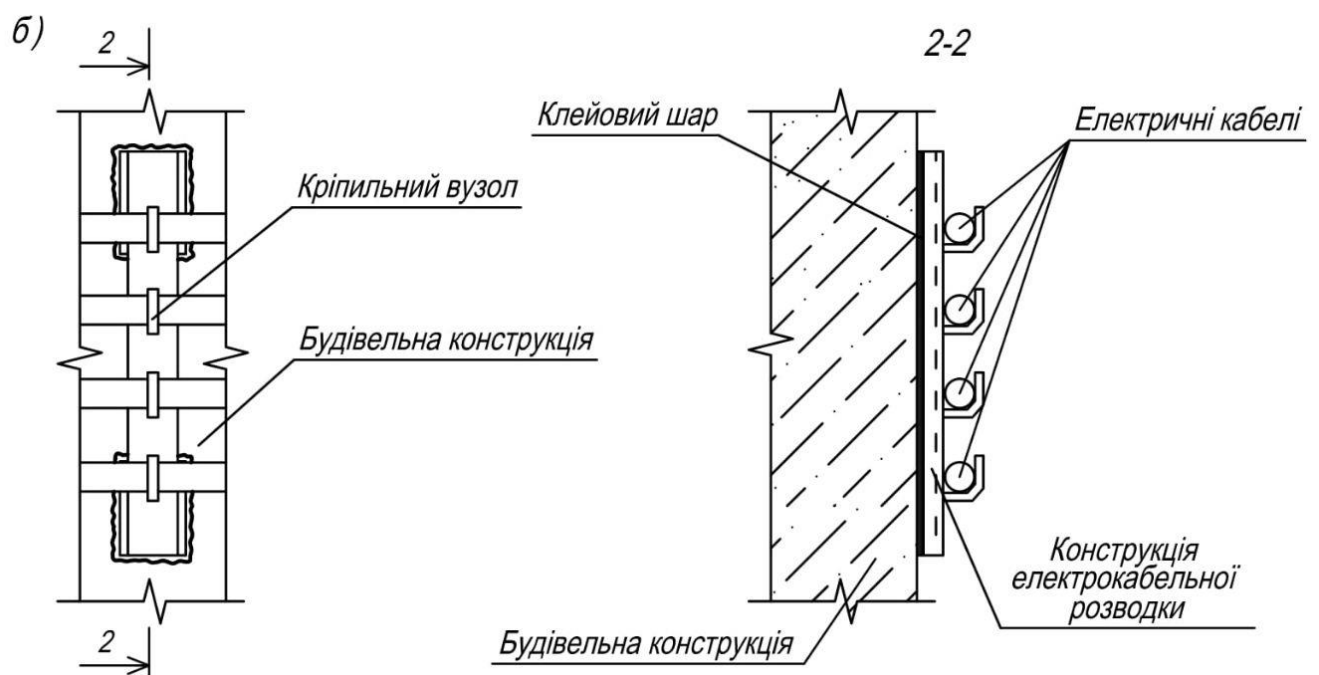
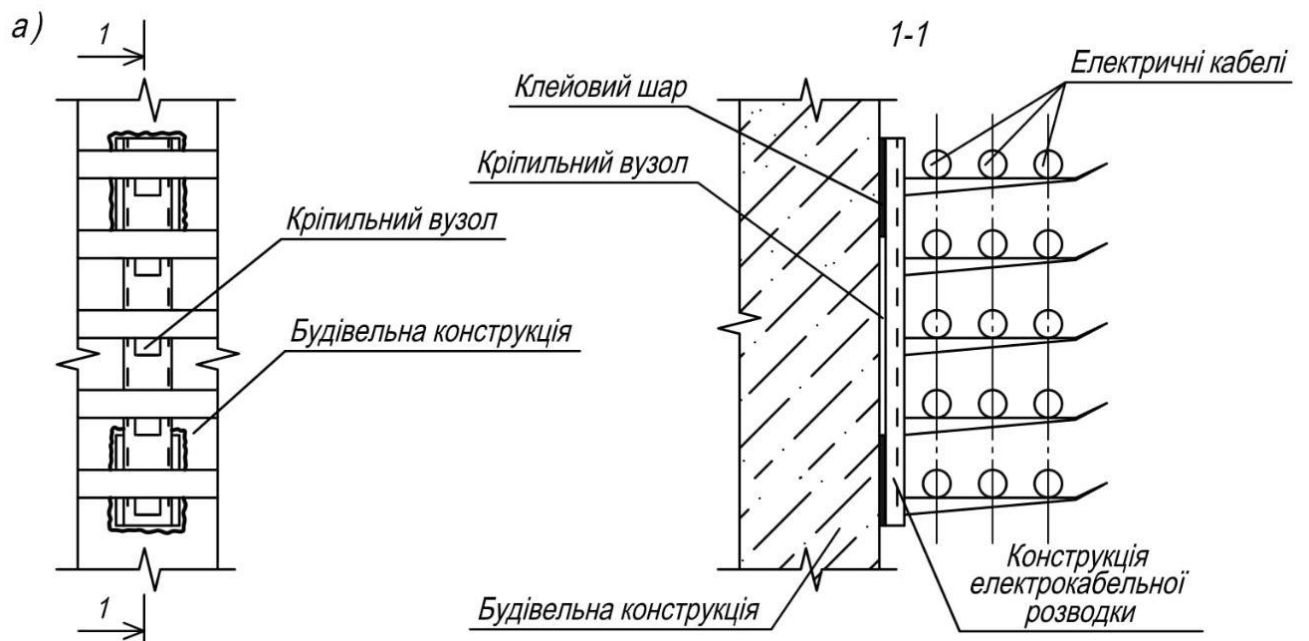


Рисунок 1.23 – Кріплення конструкцій електрокабельної розводки:
 а – методом поверхневого приклеювання сталевих вузлів;
 б – методом безпосереднього приклеювання конструкцій

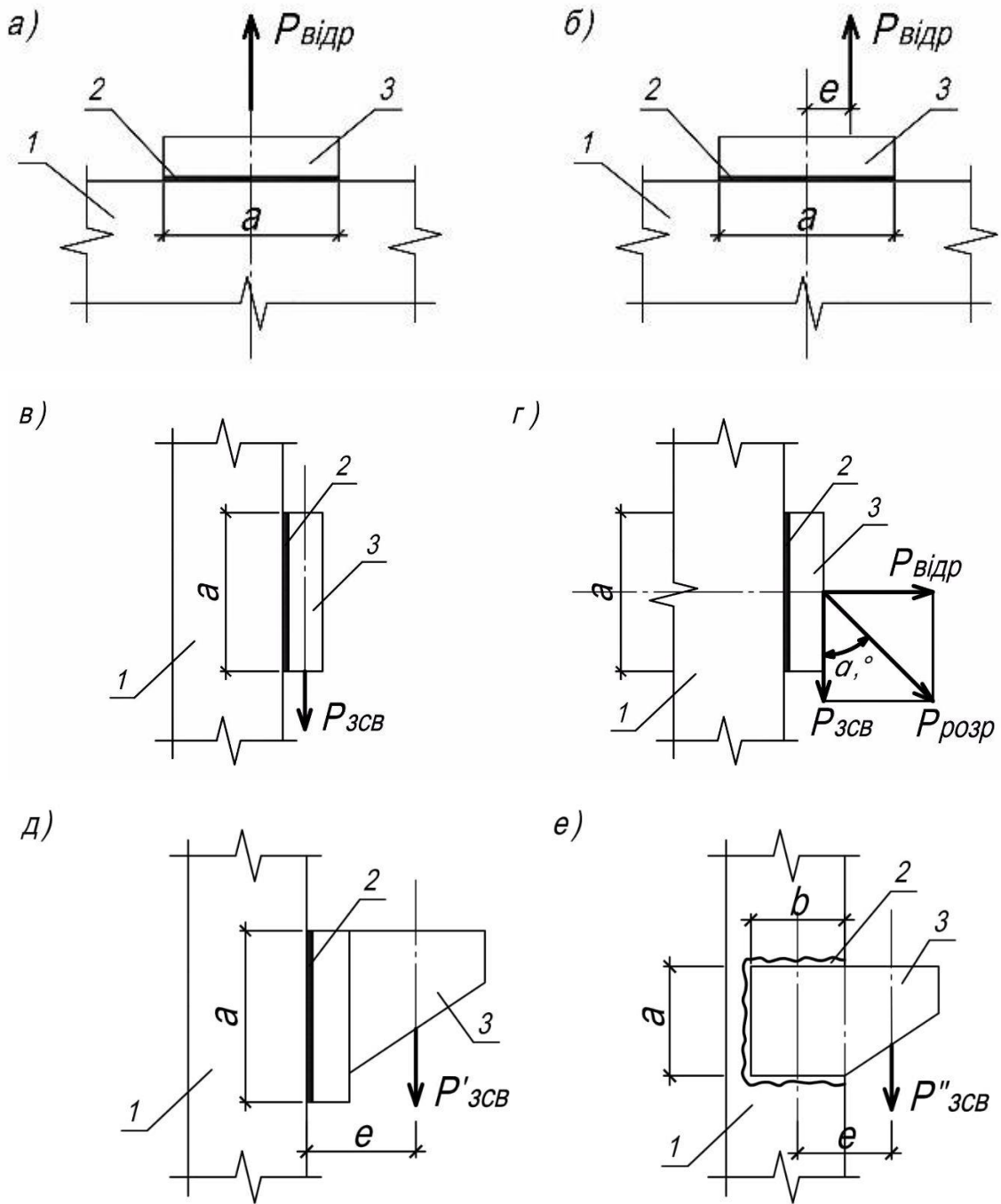


Рисунок 1.24 – Розрахункові схеми клейових сталобетонних безанкерних з'єднань:

а – за впливу центрально-докладеного зусилля відриву; б – за впливу позачентрового зусилля відриву; в – за впливу зусиль зсуву; г – за сумісного впливу зусиль відриву та зсуву; д – за сумісного впливу згинального моменту та сил зсуву; е – за сумісного впливу крутного моменту та сил зсуву; 1 – бетонна конструкція; 2 – клейовий шов; 3 – сталевий кріпильний вузол (сталева пластина)

Використовуючи ці схеми, а також результати експериментів, був розроблений метод інженерного розрахунку клейових сталобетонних з'єднань, який наведено нижче.

Питання для самоперевірки до розділу 1

1. Для чого необхідні анкерні болти?
2. Скільки існує груп глухих анкерних болтів?
3. Чим відрізняються глухі анкерні болти від знімних?
4. Від чого залежить глибина закладення анкерних болтів?
5. Чим відрізняються конструкції глухих анкерних болтів, що встановлюються до бетонування фундаменту, від конструкцій болтів, які встановлюють в існуючі чи готові фундаменти?
6. Які існують діапазони застосування глухих анкерних болтів залежно від їхньої конструкції?
7. Які існують види конструкцій знімних анкерних болтів?
8. Які існують конструкції стиків «фундамент-устаткування»?
9. Які види навантаження передаються на анкерні болти і фундаменти під устаткування?
10. Як передається навантаження на фундамент залежно від способу обпирання устаткування на нього?
11. Від чого залежить застосування марок сталі для виготовлення анкерних болтів?
12. У яких випадках застосовують нелеговані і низьколеговані марки сталей анкерних болтів?
13. Які існують температурні режими для вибору марки сталі анкерних болтів?

2 МАТЕРІАЛИ, ЗАСТОСОВУВАНІ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ГЛУХИХ АНКЕРНИХ БОЛТІВ У СВЕРДЛОВИНАХ

Як зазначалося вище, зараз для кріплення болтів на готових фундаментах широко застосовують силосанові і полімерні (епоксидні, акрилові та ін.) клеї, жорсткі цементно-піщані суміші.

2.1 Епоксидні клеї

У використовуваних для анкероустановочних робіт епоксидних клеях зв'язуючим є епоксидно-діанові смоли, а наповнювачем – кварцовий пісок. Для затвердіння епоксидно-діанових смол за нормальної температури 15 °С і вище застосовують як затверджувач аміни (поліетиленполіамін, етилендіамін, гексаметилдіамін, піперидин та ін.). Зажорсткілі епоксидні смоли мають велику крихкість, тому для додання їм пластичності у них вводять: дибутилфталат, діоксилфталат, трикрезилфосфат та ін. [4, 5, 71, 77, 81].

У розроблених Харківським ПромстройНДПроектом [71] складах клеїв для установки фундаментних болтів використовують низькомолекулярні епоксидні смоли ЕД-16, ЕД-20 та ін., а як затверджувач – поліетиленполіамін (ПЕПА) і пластифікатора – дибутилфталат (ДБФ). У зажорсткілому стані не-наповнений епоксидний клей відрізняється високими міцнісними властивостями. Міцність на стиск його дорівнює 60,4, розтяг – 30, вигин – 77,3 МПа. Наповнений кварцовим піском із крупністю зерен 0,315 мм (300 мас-частин на 100 мас-частин ЕД) епоксидний клей має міцність на стиск – 54,9, розтяг – 8,2, вигин – 47 МПа.

Під час готування епоксидного клею необхідно дотримуватись строгого дозування затверджувача і пластифікатора, тому що збільшення їхньої кількості, наприклад, з 20 мас-частин до 40 мас-частин знижує міцність клею відповідно на 50 % і 44 %.

Для кріплення болтів у готових фундаментах рекомендуються такі склади клею: епоксидна смола ЕД-16 чи ЕД-20 – 100 мас-частин, затверджувач ПЕПА – 15 мас-частин, пластифікатор ДБФ – 20 мас-частин, наповнювач – 200 – 300 мас-частин сухого кварцового піску з крупністю зерен від 0,16 мм до 0,63 мм. Міцність при стиску залежно від кількості наповнювача коливається від 40,0 МПа до 60,0 МПа, а модуль пружності – від 3×10^3 до $4,5 \times 10^3$ МПа.

Епоксидний клей зазначеного складу має такі технологічні властивості. Технологічна життєздатність за нормальної температури навколишнього сере-

довища залежно від складу клею коливається від 60 хв до 85 хв. Полімеризація за температури більше 15 °С – відбувається протягом 3 діб, а за температури нижче 15 °С – 10 діб. В'язкість епоксидного клею достатньо висока. Пластифікований клей без наповнювача за нормальної температури має в'язкість за Суттардом 20 см, а клей, наповнений кварцовим піском – 10–14 см. У разі застосування епоксидного клею за температури нижче 15 °С перед заливанням у свердловину його потрібно підігрівати.

Для приготування клею варто застосовувати компоненти, що відповідають вимогам ДСТу (табл. 2.1), мають заводські паспорти з відповідними термінами придатності з моменту виготовлення клею.

Таблиця 2.1 – Склади епоксидного клею

Складові клею	Умовні позначення	Вагові частини складових речовин клею			Нормативний документ
		1-го	2-го	3-го	
1	2	3	4	5	6
Епоксидний клей	ЕД-16 або ЕД-20	100	100	100	ГОСТ 10587
Поліетилен-поліамін	ПЕПА	15	15	7,5	ТУ 6-62-594-80Е
Метафенілен-діамін	МФД	–	–	7,5	ГОСТ 5826
Дибутілфталат	ДБФ	20	–	–	ГОСТ 8728
Поліефір-крилат	МГФ-9	–	10	10	ТУ 6-01-450-70
Пісок вольський	ПВ	200	–	–	ГОСТ 6139
Пісок кварцовий з питомою поверхнею від 1 000 см ² /г до 2 000 см ² /г	ПМ	–	200	200	–
Примітка: Когезійна міцність при стиску до ДСТ 4551 для 1-го складу має бути не нижче 50 МПа, а для 2-го і 3-го – 70 – 80 МПа.					

Клей першого складу застосовують на ділянках фундаменту, що прогріваються (на глибині закладення болта) до температури 50 °С, другого – від 50 °С до 90 °С і третього – до 100 °С.

Компоненти клею потрібно зберігати в сухому приміщенні з дотриманням умов пожежної безпеки для легкозаймистих рідин.

До недоліків епоксидного клею відносяться:

- токсичність компонентів (крім наповнювача), що вимагає строгого дотримання спеціальних заходів із техніки безпеки;
- недостатня теплостійкість, що не допускає застосування клею за температури нагрівання елементів понад 100 °С;
- під час приготування епоксидного клею потрібне точне дозування застуджувача і пластифікатора, що викликає в умовах будівництва додаткові складності й ненадійність результату;
- у випадку виконання анкероустановочних робіт за температури нижче 15 °С застосування епоксидного клею вимагає додаткових заходів щодо підігріву клею та анкерів;
- висока вартість епоксидної смоли, її дефіцитність.

2.2 Силоксановий клей

До складу силоксанового клею [59] входить 300 мас-частин їдкою натрієвого скла з модулем 1,8–6,0, 600 мас-частин сухої меленої суміші, 200 мас-частин кварцового піску, а також 0,01 % від маси сухої меленої суміші алюмінієвої пудри.

Рідке скло застосовують товарного постачання. Для зменшення його модуля в 1 кг рідкого скла вводять 70 г їдкою калію у твердому вигляді. Суха мелена суміш складається з: 35 % гранульованого доменного шлаку вологістю до 0,5 %, 40 % кварцового піску вологістю до 0,5 % і 25 % технічного кремнефтористого натрію. Складові меленої суміші використовують із питомою поверхнею, що дорівнює 5 000–7 000 см²/м. Подрібнення здійснюється в кульовому млині періодичної дії. Мелену суміш потрібно оберігати від зволоження і забруднення під час зберігання. Міцність силоксанового клею на стиск через 28 діб твердіння за нормальної температури складає більше 40 МПа.

Для приготування клею потрібно застосовувати компоненти, що відповідають вимогам ДСТУ (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Компоненти силоксанового клею

Найменування матеріалів за ДСТ	Держстандарт
Скло натрієве рідке	13078
Пісок для будівельних робіт	8736
Натрій кремнефтористий технічний	–
Доменний гранульований шлак із модулем основності вище одиниці*	–
Калій їдкий технічний	9285
Пудра алюмінієва	5494

* Можуть використовуватися гранульовані шлаки металургійних заводів Півдня України (Дніпровського, Запорізького, Дніпродзержинського), а також ливарних виробництв.

Істотним недоліком силіксанового клею є його багатоконпонентність, необхідність виробництва гідродомолу, неможливість застосування у випадку впливу на анкерне з'єднання високої вологості. У таблиці 2.3 наведений склад силіксанового клею.

Таблиця 2.3 – Склад силіксанового клею

Склад меленої сухої суміші, % за масою			Алюмінієва пудра понад 100 % від меленої суміші	Склад клею, % за масою		
доменний шлак	кварцовий пісок	кремнефтористий натрій		мелена суха суміш	рідке скло	кварцовий природний пісок
35	40	25	0,01	50	30	20
Примітка. Коhezійна міцність клею на стиск після 28-добового збереження зразків 2 × 2 × 2 см на повітрі за температури 18-20 °С має бути не менш 40 МПа.						

2.3 Жорсткі цементно-піщані суміші

Закріплюючи фундаментні болти шляхом віброзачеканки, застосовують жорсткі цементно-піщані суміші [56, 58]. Склад їх залежить від температури навколишнього середовища, за якої виконуються роботи. За температури середовища від 5 °С до 30 °С для проведення анкероустановчих робіт рекомендується використовувати суміш, що складається з 100 мас-частин портландцементу марки 400, 100 мас-частин дрібного кварцового піску і 10 мас-частин технічної води. У воді не повинні бути присутніми домішки, що перешкоджають нормальному схоплюванню і зажорсткінню цементу. Кількість води коректується залежно від вологості піску. За температури навколишнього середовища від +5 °С до -20 °С до наведеного вище складу цементно-піщаної суміші додають двокомпонентну домішку, що складається з вуглекислого калію і сірчаноокислого алюмінію. Склад домішки залежить від температури навколишнього середовища. У неї входять:

- за температури від +5 °С до -5 °С – 5 мас-частин вуглекислого калію і 1 мас-частина сірчаноокислого алюмінію;
- за температури від +6 °С до +40 °С – 10 мас-частин вуглекислого калію і 1,5 мас-частин сірчаноокислого алюмінію;
- за температури від -10 °С до -120 °С – 16 мас-частин вуглекислого калію і 2 мас-частини сірчаноокислого алюмінію.

Для приготування цементно-піщаної суміші варто застосовувати матеріали, що відповідають вимогам ДСТ (табл. 2.4).

Складові суміші зберігають у сухому приміщенні: цемент і вуглекислий калій – у герметичній тарі, сірчаноокислий алюміній може зберігатися у відкритій тарі, але за температури не нижче +10 °С, тому що за більш низької температури він поглинає воду.

Таблиця 2.4 – Склад цементно-піщаної суміші

Температура зовнішнього повітря під час установлення болтів, °С	Склад суміші, вагові частини					Технологічна життєздатність, хв
	портланд-цемент М400 (ГОСТ 10178)	пісок дрібний для будівельних робіт (ГОСТ 8736)	вода технічна (ГОСТ 2874)	калій вуглекислий (поташ) (ГОСТ 10690)	алюміній сірчаноокислий (ГОСТ 8758)	
Від +5 до +30	100	100	10	–	–	120
Від +5 до -5	100	100	10	5	1	30
Від -5 до -10	100	100	10	10	1,5	30
Від -10 до -20	100	100	10	15	2	30

Цементно-піщану суміш виготовляють безпосередньо в зоні анкероустановочних робіт механізованим способом, використовуючи мішалки (бігунки) типу ЛБ-2.

2.4 Акриловий клей

Склад акрилового клею розроблений у Харківській національній академії міського господарства. Тут були проведені комплексні дослідження адгезійних, когезійних і технологічних властивостей, а також довговічності акрилового клею [10–11, 18–26, 81, 82, 83].

Акриловий клей складається з полімерного в'язучого і наповнювача. Як полімерне в'язуче застосовується акрилова пластмаса АСТ-Т, що становить компаунд холодного затвердіння типу порошок-рідина. Компоненти АСТ-Т випускає завод-виготовлювач. Поставляються вони в комплекті. Порошкоподібний компонент АСТ-Т – це високомолекулярна речовина, що становить суспензійний полімер на основі метилметакрилату (поліметилметакрилат). Рідкоподібний компонент (далі затверджувач) акрилових самотвердіючих пластмас АСТ-Т – метиловий ефір метакрилової кислоти (мономер метилметакрилату).

Затвердіння акрилової пластмаси здійснюється мимовільно за нормальної температури шляхом полімеризації, заснованої на реакції окислювально-відновних систем. Як наповнювач може використовуватися кварцовий пісок із

крупністю зерен від 0,16 мм до 0,63 мм. Пісок має бути сухим, без сторонніх домішок і включень.

Для підвищення адгезійних, когезійних, технологічних та ін. властивостей можуть застосовуватися модифікатори.

2.4.1 Технологічні властивості акрилових клеїв

Приготування клеїв – це перша стадія технологічного процесу склеювання, від якої значною мірою залежить якість клею і надійність клейового шва. Оскільки акриловий клей є системою холодного затвердіння, підготовка його здійснюється на місці споживання безпосередньо перед застосуванням.

Для розроблення технологічних процесів під час використання акрилових клеїв для пристрою з'єднання елементів бетонних і залізобетонних конструкцій, а також для закладення сталевих анкерів необхідно було дослідити їхні технологічні характеристики, а саме: наповнюваність, в'язкість, життєдіяльність та тривалість їхнього затвердіння.

2.4.1.1 Приготування акрилового клею

Термін зберігання компонентів – рідкого 1 рік, порошку – не обмежений.

Компоненти клею повинні мати температуру, близьку до температури приміщення, у якій проводяться роботи. Якщо компоненти зберігалися за зниженої температури, то їх необхідно попередньо витримати в опалювальному приміщенні для уникнення конденсації вологи з повітря.

Важливу роль у приготуванні клею відіграє зважування, яке потрібно проводити ретельно. Чашки ваг повинні утримуватися в абсолютній чистоті, перед кожним зважуванням потрібно перевіряти правильність показань. Неправильне зважування може призвести до порушення співвідношення компонентів у композиції та зниження міцності клейових з'єднань.

Приготування клею проводять у посуді, виготовленої з матеріалів, стійких до впливу компонентів клею і органічних розчинників (мономера – метилметакрилату). Посуд має щільно закриватися кришкою, на його внутрішній поверхні не має бути слідів вологи, залишків старого клею, сторонніх продуктів та інших забруднень.

З аналізу виконаних досліджень [47–49] випливає, що найдоцільнішим як з економічного, так і екологічного погляду, є використання наповнювача

акрилового клею природного кварцового піску з розміром зерен від 0,16 мм до 1,25 мм.

Експерименти показали, що приготування акрилового клею необхідно проводити за такою схемою. Полімер вводиться в мономер-затверджувач за безперервного перемішування. Приготування невеликих порцій клею доцільно проводити вручну, не застосовуючи спеціальних змішувачів. Для контролю якості перемішування клею і його однорідностей в суміш компонентів можна додати невелику кількість інертного барвника. У результаті змішування полімер набухає в мономері до консистенції, яка виключає його осідання. Закінчення набухання характеризується отриманням одноколірної липкої маси з умовною в'язкістю за віскозиметром Суттарда 38–40 см. Далі, за безперервного перемішування компаунда, вводиться необхідна кількість кварцового піску. Перемішування проводиться до досягнення однорідності клейової маси.

Швидкість набухання вимірювали за проміжком часу з моменту змішування компонентів сполучного до набуття ним в'язкості, відповідного оптимального стану маси для наповнення піском. Для цього в декількох посудинах змішували мономер з полімером, потім під час набухання суміші в посуд вводили задану кількість кварцового піску і візуально визначали однорідність перемішування. Одночасно з цим за віскозиметром Суттарда знаходили умовну в'язкість складу, відповідну кращому ступеню перемішування.

Експерименти показали, що акриловий компаунд набуває клейову здатність унаслідок набрякання полімеру в затверджувачі (мономері) після їхнього змішування. Набухання – це збільшення маси полімеру в результаті поглинання низькомолекулярної рідини після змішування, що проходить такі стадії:

- змочування полімерних частинок мономеру без внутрішнього просочення;
- набухання полімерних частинок із поверхні та часткове розчинення їх у мономері – маса стає липкою;
- подальша дифузія мономеру всередину частинок, у результаті чого знижується кількість вільного мономеру – маса втрачає липкість.

Первинна в'язкість компаунда залежить від його складу і зростає в міру набухання полімеру. Однією з характерних особливостей клеїв є втрата з часу приготування технологічності в результаті зростання в'язкості за збереження здатності нормально загартувати. Тому про життєздатність клею роблять висновки здебільшого за зміною його в'язкості в часі.

Зважаючи на наведене, необхідно досліджувати величину початкової в'язкості, тривалість набухання і життєздатність компаунда залежно від вмісту затверджувача в його складі та температури навколишнього середовища. Одноразово вівся пошук отримання оптимальної та максимальної в'язкості для наповнення компаунда кварцовим піском. Із цією метою однаково кількість складових акрилового компаунда по масі (100 : 100) змішували для набухання в декількох посудинах. Суміш набухала до набуття прозорості, липкості. Потім в одну з посудин вводили 150 мас. ч. піску з розміром зерен 0,14 мм. Перемішаний розчин повинен мати достатню рухливість і гомогенність. Одночасно з цим за віскозиметром Суттарда визначали умовну в'язкість компаунда без наповнювача та фіксували час від початку змішування компонентів. Для визначення оптимальної в'язкості досліди повторювали до досягнення рівномірного розподілу зерен піску в обсязі компаунда, а максимальної – до набуття ним в'язкості, яка виключає наповнення його піском. Вочевидь, для різних складів в'язкість у такому випадку має бути однаковою. На кожному ступені проводили до 10 вимірів. Розбіжність показників складала менше 5 %.

При визначенні початкової в'язкості, тривалості набухання і життєздатності варіювали вміст затверджувача (60, 80, 100, 120, 140, 160 і 180 мас. ч. на 100 мас. ч. полімеру). Температуру складів підтримували близько 20 °С.

Експериментами встановлено, що зі збільшенням частки мономера початкова умовна в'язкість зменшується майже в п'ять разів, а тривалість набухання збільшується від 3,5 хвилин до 33 хвилин.

Далі визначали вплив температури (від 0 °С до 25 °С) на початкову в'язкість і тривалість набухання рекомендованого для клейового анкерування складу (100 : 100 мас. ч. затверджувача і полімеру). З підвищенням температури тривалість набухання зменшується і становить: 140 хв за 0 °С, 30 хв за 10 °С, 15 хв за 15 °С, 10 хв за 20 °С і 6 хв за 25 °С.

Експериментами встановлено, що оптимальна умовна в'язкість компаунда для наповнення його кварцовим піском відповідає діаметру розпливу за віскозиметром Суттарда 38–40 см, а максимальна – 24 см.

Під час дослідження життєздатності вимірювання в'язкості проводилися з моменту досягнення величини розпливання 38–40 см і до втрати можливості наповнення компаунда кварцовим піском.

Далі для приготування клею за безперервного перемішування металевією або дерев'яною лопаткою вводили (згідно з прийнятим складом) необхідну кількість наповнювача (кварцового піску) і відповідної домішки. Перемішування проводилося до досягнення клейовою масою однорідного стану.

На підставі результатів [23-48], встановлені домішки, які підвищують адгезійну та когезійну міцність, а також теплостійкість акрилових клеїв.

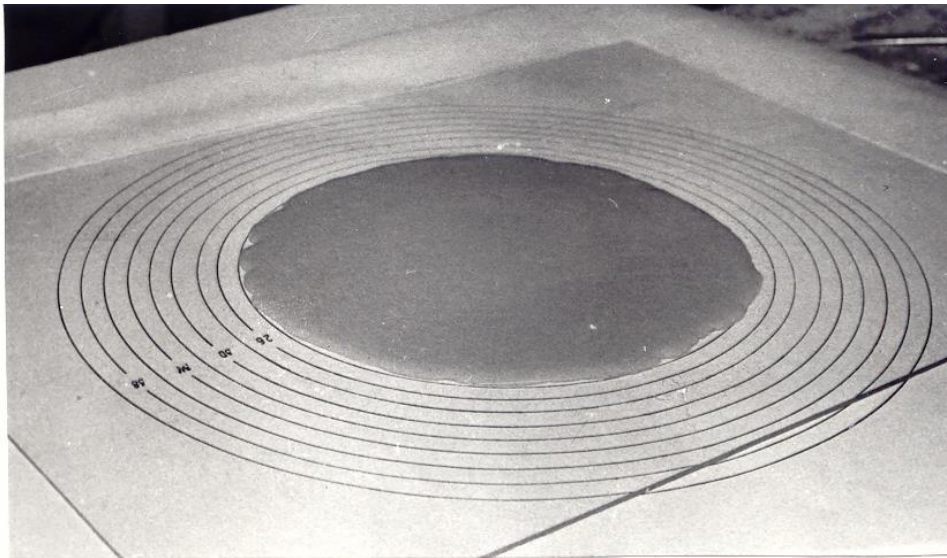
2.4.1.2 В'язкість акрилового клею

Вимірювання в'язкості акрилового клею під час полімеризації дозволяє простежити процес його структуроутворення. Вплив наповнювача на реологічні властивості композиційної системи досліджено в низці робіт [2, 10, 17, 23, 66]. Як зазначалося вище, в'язкість визначали за допомогою віскозиметра Суттарда за діаметром розпливу клею (у сантиметрах). До основного складу компаунда вводили певну кількість піску, перемішували до отримання однорідної маси та заливали її в циліндр віскозиметра Суттарда. Діаметри розтікання акрилового клею залежно від його складу подані на рисунку 2.1.

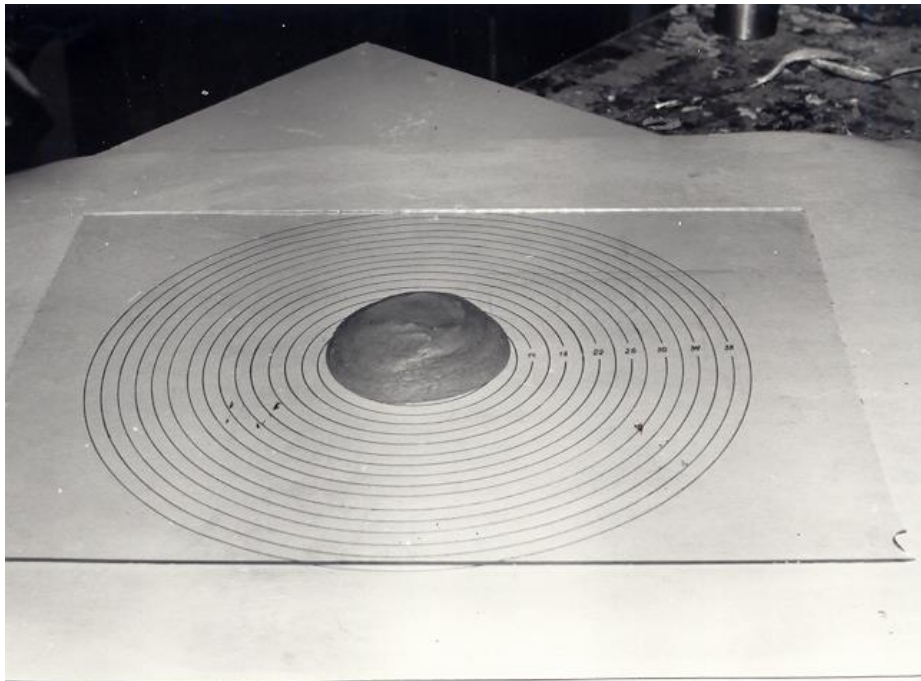
Для визначення впливу кількості наповнювача на в'язкість клею однаковою кількістю складових акрилового компаунда по масі (100: 100 мас. ч.) змішували в трьох посудинах. Після набуття сумішшю прозорості і липкості в кожну з посудин вводили 50 мас. ч., 100 мас. ч. і 150 мас. ч. піску крупністю зерен до 0,16 мм. Перемішані до однорідної маси розчини заливали в циліндри віскозиметрів Суттарда і визначали в'язкість. Водночас фіксували час від початку змішування компонентів. На кожному ступені, для зазначених складів (за наповнювачем) робити до 10 вимірів. На рисунку 2.2 показана залежність в'язкості від кількості наповнювача. Розкид величин зміни в'язкості склав менше 5 %. Вплив крупності зерен наповнювача на в'язкість модифікованого акрилового клею досліджували шляхом наповнення компаунда (100 : 100 мас. ч.) 150 мас. ч. кварцового піску з розміром 0,16; 0,315 і 0,63 мм. Отримані результати наведені на рисунку 2.3.

Дослідженнями встановлено, що в'язкість акрилового клею збільшується зі збільшенням кількості та зменшенням крупності частинок піску. Це пояснюється впливом сильно розвиненої поверхні зерен наповнювача, його орієнтаційної здатності під час структуроутворення композиції, що свідчить про роль наповнювача як структуроутворювальної домішки.

Дослідження впливу кількості мономера на в'язкість клею робили на складі, що складається з 100 мас. ч. полімеру та 150 мас. ч. піску крупністю 0,16 мм шляхом зміни кількості мономера, а саме 60, 80, 100, 120, 140, 160 і 180 мас. ч. Результати дослідів наведені на рисунку 2.4.



а



б

Рисунок 2.1 – Характер розпливу акрилового клею:
а – діаметр розпливу 24 см; б – діаметр розпливу 13 см

В'язкість акрилового клею залежить від температури навколишнього середовища, що підтверджується результатами експериментальних досліджень (рис. 2.5). Склад акрилового клею 100 : 100 : 150 мас. ч. (пісок розміром до 0,16 мм). Температура навколишнього середовища під час випробування становила 0; 10; 15; 20 і 25 °С. Результати випробувань показують, що зі зниженням температури навколишнього середовища в'язкість клею збільшується.

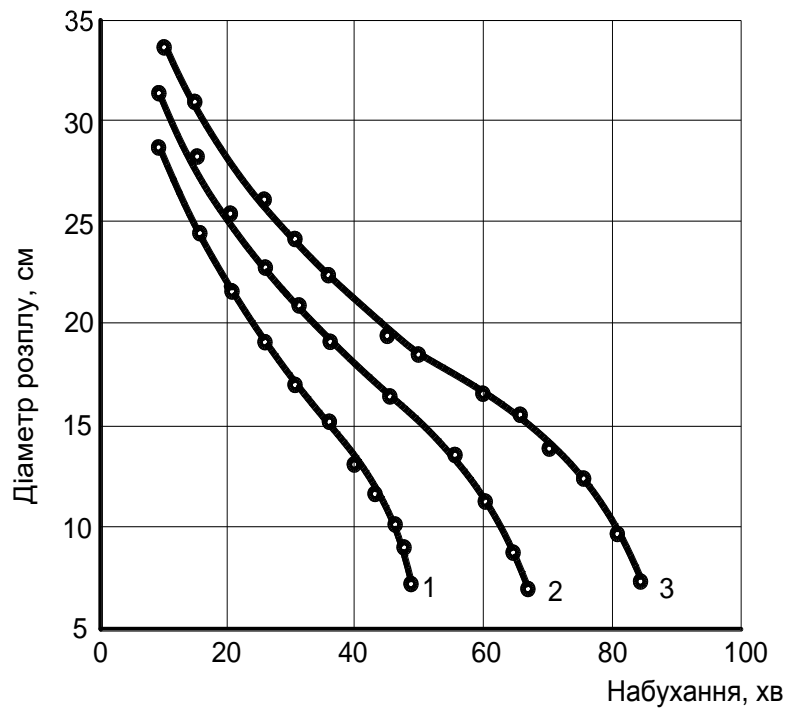


Рисунок 2.2 – Вплив кількості наповнювача на в'язкість клею.
Пісок розміром 0,16 мм за масою: 1 – 150, 2 – 100, 3 – 150

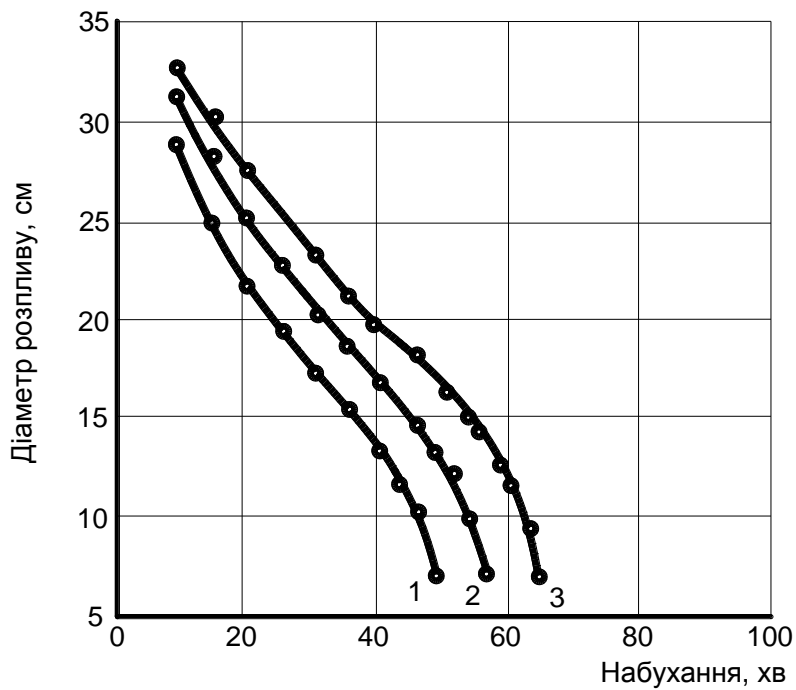


Рисунок 2.3 – Вплив крупності зерен наповнювача на в'язкість клею.
Крупність зерен: 1 – 0,16 мм; 2 – 0,315 мм; 3 – 0,63 мм

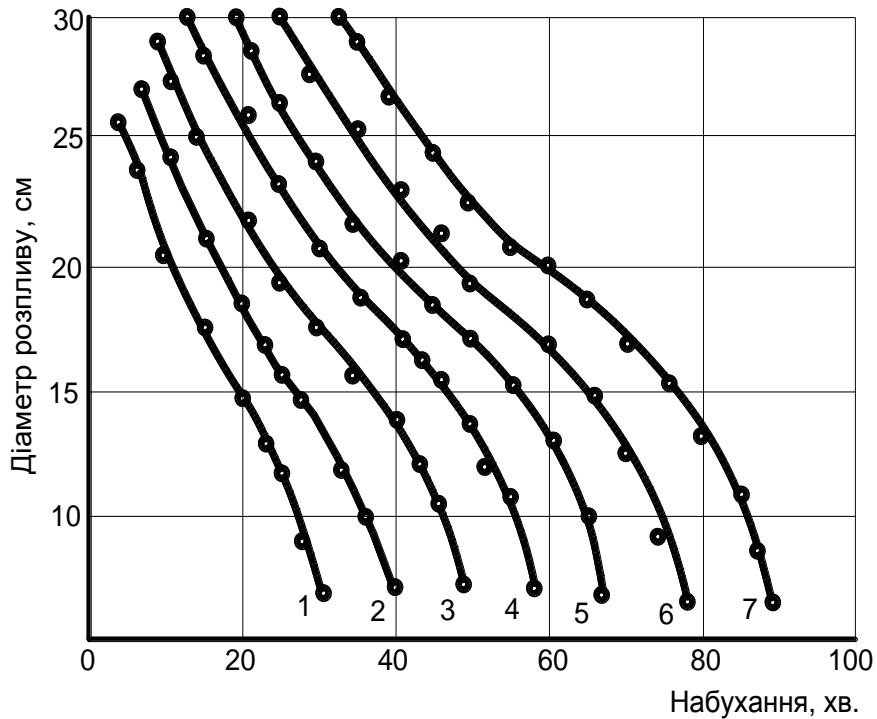


Рисунок 2.4 – Вплив кількості мономера на в'язкість клею.
 Мономер за масою: 1 – 60; 2 – 80; 3 – 100; 4 – 120; 5 – 140; 6 – 160; 7 – 180

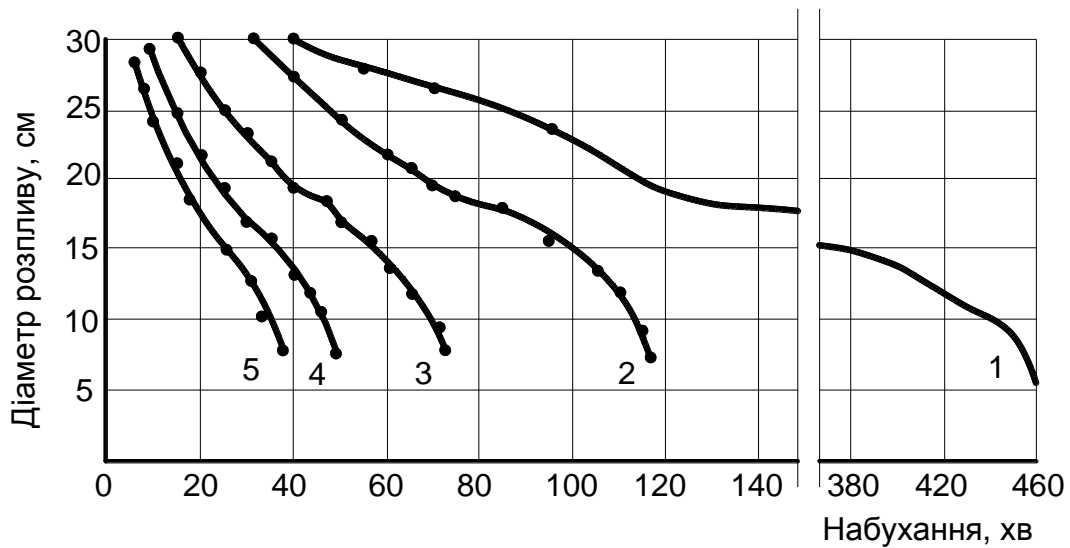


Рисунок 2.5 – Вплив температури навколишнього середовища на в'язкість акрилового клею. Температура: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25 °C

Отже, експерименти щодо визначення впливу на в'язкість акрилового клею модифікувальних домішок і умов полімеризації показали:

– уведення модифікувальних домішок у клей практично не впливає на в'язкість клейової системи;

– істотний вплив на в'язкість акрилового клею має кількість затверджувального агента в ньому (окисно-відновної системи), кількість і крупність зерен наповнювача, а також температурні умови полімеризації.

2.4.3.3 Наповнюваність модифікованого акрилового клею

Під час використання акрилового клею для влаштування клейових з'єднань елементів будівельних конструкцій важливим фактором є знання ступеня наповнення компаунда кварцовим піском різної кількості та крупності, а також модифікувальних домішок. Це дозволило підібрати оптимальні склади акрилових клеїв різних складів, що мають достатню рухливість для пристрою зазначених клеїв з'єднання.

У набряклий до встановленої в'язкості акриловий компаунд вводили задану кількість кварцового піску. Після ретельного перемішування до однорідної маси визначали умовну в'язкість за віскозиметром Сутгарда. Зміст кварцового піску за однієї і тієї ж саме величині крупності зерен наповнювача збільшували до втрати складом легкокладуваності. Стосовно раніше встановленої умовної в'язкості, оптимальної для використання акрилового клею для створення клейового з'єднання, визначали ступінь максимального наповнення компаунда кварцовим піском за температури 20 ± 2 °С.

Відомо, що текучість полімерних матеріалів характеризується значним відхиленням від ньютонівського поведіння, тобто відсутністю прямої пропорційності між напругою зсуву і швидкістю зсуву [104]. Особливістю наповнених систем є існування межі текучості, яка проявляється починаючи з деякої концентрації наповнювача, коли клей набуває пластичності, тобто втрачає здатність текти за будь-якої зсувній напрузі. Вочевидь у цьому випадку величина критичної концентрації буде залежати від крупності зерен наповнювача, а також від складу акрилового компаунда. Вплив крупності зерен піску на наповнюваність основного складу акрилового компаунда досліджували з використанням кварцового (крупність зерен 0,16; 0,315 і 0,63 мм) і вольського піску та одному і тому ж виді й кількості модифікатора. Для визначення впливу складу компаунда змінювали кількість мономера від 60 мас. ч. до 200 мас. ч. на 100 мас. ч. полімеру. Кварцовий пісок брали з розміром зерен 0,16 мм. Одночасно проводили по 6 вимірювань, розкид показань склав менше 5 %. Результати досліджень наведені на графіках рисунків 2.6, 2.7.

Встановлено граничну межі наповнення основного складу акрилового компаунда, яка рівна для пісків крупністю 0,16 мм – 300, 0,315 мм – 500, 0,63мм – 800 і вольського піску – 700 мас. ч.

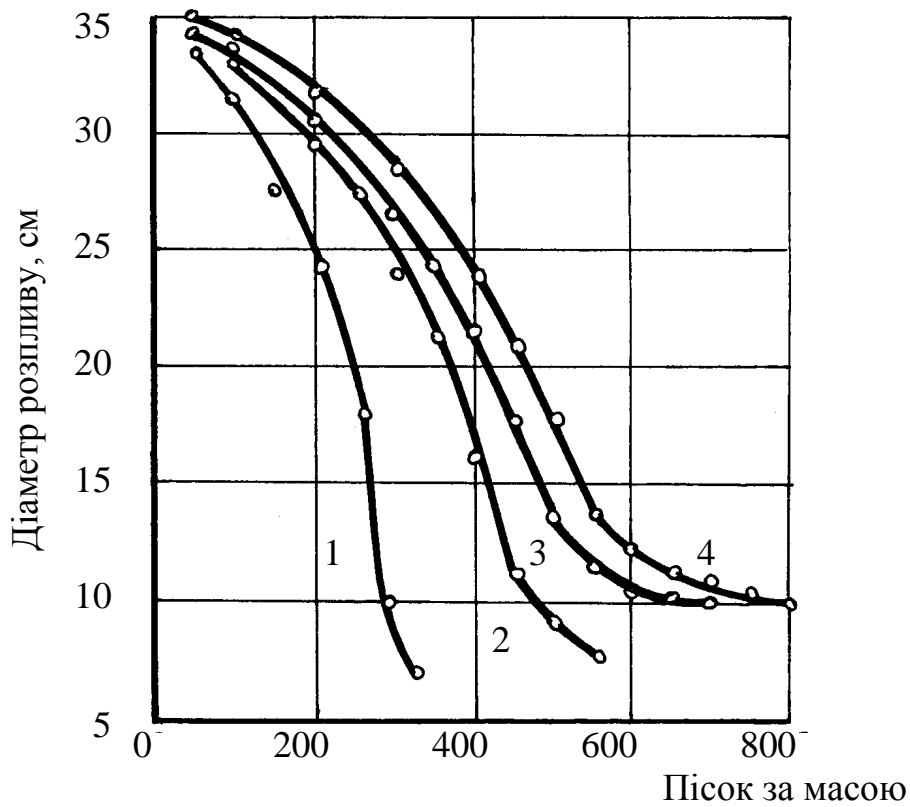


Рисунок 2.6 – Наповнюваність компаунда залежно від крупності зерен піску. Крупність піску: 1 – 0,16 мм; 2 – 0,315 мм; 3 – вольський пісок; 4 – 0,63 мм

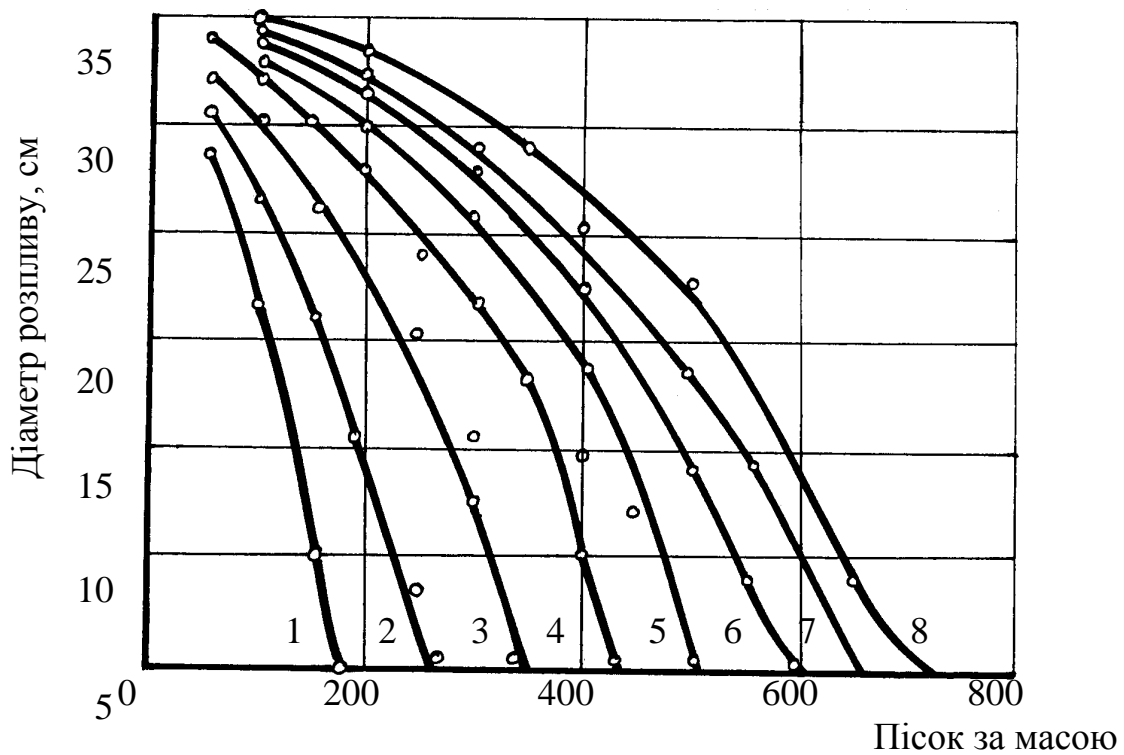


Рисунок 2.7 – Вплив частки мономера на наповнюваність компаунда піском розміром 0,16 мм. Мономер за масою: 1 – 60; 2 – 80; 3 – 100; 4 – 120; 5 – 140; 6 – 160; 7 – 180; 8 – 200

Використовуючи раніше отримані величини умовної в'язкості клею, визначено можливі склади модифікованого акрилового клею з погляду їхньої рухливості для клейового анкерування випусків арматурних стрижнів періодичного профілю (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Залежність умовної в'язкості клею від ступеня наповнення його кварцовим піском і 6 мас. ч. окису цинку

Крупність зерен піску, мм	Кількість (мас. ч.) кварцового піску за діаметру розпливу клею (см)				
	27 см	24 см	18 см	15 см	12 см
0,16	150	180	250	270	280
0,315	250	300	380	400	440
вольський	300	350	440	470	530
0,63	330	400	490	580	600

Як видно з таблиці 2.1, в'язкість акрилового клею можна регулювати введенням до складу компаунда кварцових пісків різної крупності. Хорошу рухливість (умовна в'язкість 24 см) має клей, який містить пісок з розміром зерен 0,16 мм – 180, 0,315 мм – 300, 0,63 мм – 400 і вольський – 350 мас. ч. Цей висновок добре узгоджується з рекомендованими складами, прийнятими під час дослідження міцності акрилового клею. З огляду на допустиму умовну в'язкість (15 см), для клейового анкерування можна вводити більшу кількість піску (див. табл. 2.1). Однак ці склади мають недостатню життєздатність.

Експерименти із визначення впливу на наповнюваність акрилових клеїв модифікованими домішками показали, що введення запропонованих домішок не впливає на наповнюваність кварцовим піском акрилових клеїв.

2.4.1.4 Життєздатність акрилового клею

Життєздатність – час, протягом якого акриловий клей зберігає свою технологічну в'язкість і може бути використаний для заливки в кріпильні зазори, тобто поки він здатний заповнити їх.

Як сам термін життєздатності, так і способи її визначення не узаконені нормативними документами. Тому життєздатність зазвичай визначають за методами, розробленими самостійно.

Під час визначення життєздатності найважливішими технологічними властивостями модифікованого акрилового клею є зручна заповненість у кріпильні зазори (свердловини) і його адгезійна здатність.

Життєздатність визначали за зміною умовної в'язкості чистої і наповненої композиції на віскозіметрі Суттарда. Визначали повну і технологічну життєздатність композиції залежно від її складу та температури: повна – проміжок часу з моменту приготування до початку відкидання; технологічна – проміжок часу з моменту змішування тільки компонентів сполучного до набуття в'язкості, за якої клей стає непридатним для наповнення піском і модифікаторами. Для цього поряд із визначенням умовної в'язкості за Суттардом в окремі посудини з клеєм вводили кварцовий пісок і відповідні модифікатори для досягнення складом в'язкості, яка виключає подальше наповнення його піском.

Визначали також технологічну життєздатність наповненої композиції – проміжок часу з моменту приготування акрилового клею до набуття ним в'язкості, що перешкоджає заповненню свердловини під арматурні стрижні та випуски. Для знаходження цієї величини поряд із установленням умовної в'язкості за Суттардом досліджуваний клей заливали в свердловини в разі закладення в бетон сталевих стрижнів різного профілю до тих пір, поки він мав здатність заповнювати їх.

Залежність життєздатності модифікованого клею від співвідношення компонентів визначали за температури 20 ± 2 °С.

Експериментальні дослідження життєздатності модифікованого акрилового клею за температури 0 °С, 10 °С, 15 °С, 20 °С і 25 °С здійснювали на складі № 26 (див. табл. 2.1), де як наповнювач використаний кварцовий пісок із розміром зерен до 0,16 мм.

Під час розроблення технології пристрою сталевих випусків з арматури періодичного профілю на модифікованому акриловому клеї важливим параметром є його технологічна життєздатність – час, протягом якого клей придатний для заповнення ним утворених у будівельних елементах свердловин під випуски. У зв'язку з цим необхідно було дослідити вплив на вказаний параметр складу компаунда, кількість і крупність наповнювача (кварцового піску) за прийнятого модифікатора в композиції, а також температури навколишнього середовища.

Вплив складу компаунда на життєздатність клею досліджували зміною змісту мономера від 60 мас. ч. до 180 мас. ч. на 100 мас. ч. полімеру, 150 мас. ч. кварцового піску крупністю зерен до 0,16 мм (рис. 2.8). Визначали, крім того, залежність життєздатності клею від кількості та крупності кварцового піску. У першому випадку в рекомендований склад компаунда (100 мас. ч. мономера і 100 мас. ч. полімеру) вводили 6 мас. ч. окису цинку, а також 50, 100 і 150 мас. ч. кварцового піску крупністю 0,16 мм.

У другому випадку до складу компаунда (100 мас. ч. мономеру, 100 мас. ч. полімеру) вводили 150 мас. ч. піску з розміром зерен 0,16 мм; 0,315 мм і 0,63 мм. Водночас наповнення компаунда піском починали після досягнення ним у результаті набухання оптимальної в'язкості. Результати дослідження наведені на рисунках 2.8, 2.9. Для кожного випадку здійснювали по шість вимірів, а розкид показань не перевищував $\pm 5\%$.

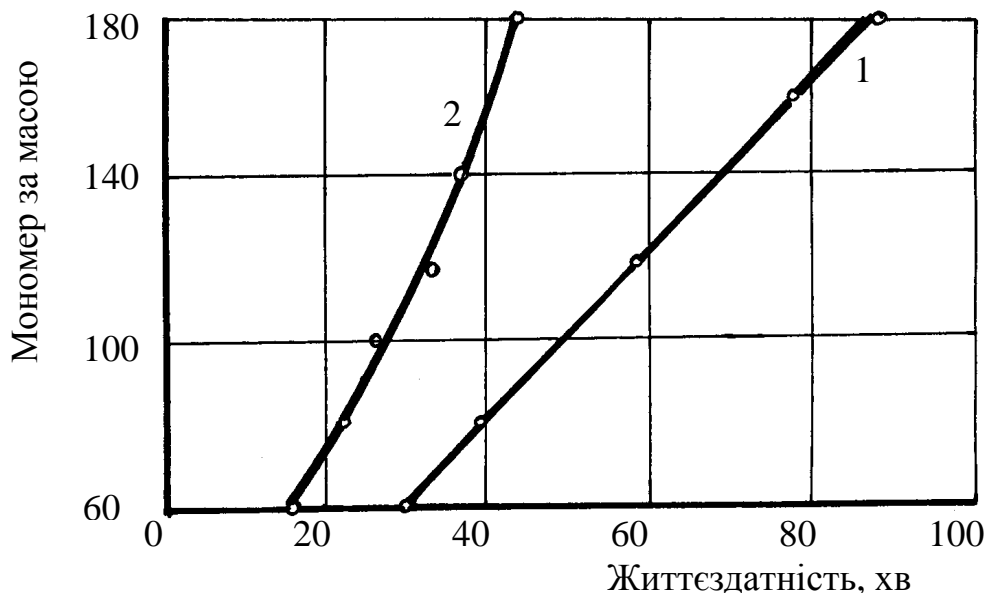


Рисунок 2.8 – Вплив кількості мономеру на повну (1) і технологічну (2) життєздатність модифікованого акрилового клею

Попередньо було встановлено, що для заповнення свердловини під випуски арматурних стрижнів періодичного профілю модифікований акриловий клей повинен мати максимальну умовну в'язкість 24 см, а для заповнення свердловини під час установлення окремих арматурних стрижнів – 15 см. За 12 см розпливу клей втрачає текучість.

Технологічну життєздатність визначали точкою перетину кривої графіка зростання в'язкості в часі (див. рис. 2.2–2.5) з прямою, паралельною осі абсцис і відповідної умовної в'язкості, що дорівнює 15 см.

Результати досліджень показують, що зі збільшенням вмісту мономеру від 60 мас. ч. до 180 мас. ч. життєздатність клею підвищується з 22 хв до 43 хв (див. рис. 2.8). Основний рекомендований склад клею – за 20 °С має технологічну життєздатність 27 хвилин. Використовуючи меншу кількість піску або збільшуючи його крупність, можна підвищити життєздатність клею до 57 хв (рис. 2.9), зберігаючи разом із тим несучу здатність клейового анкерного з'єднання.

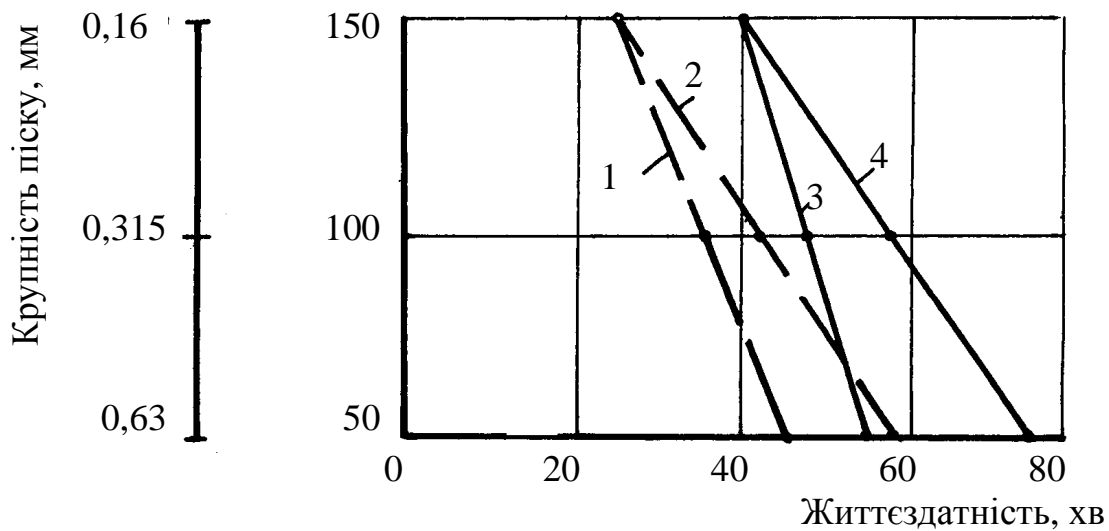


Рисунок 2.9 – Вплив кількості (1, 2) і крупності зерен (3,4) кварцового піску на повну (1, 3) і технологічну (2, 4) життєздатність модифікованого акрилового клею

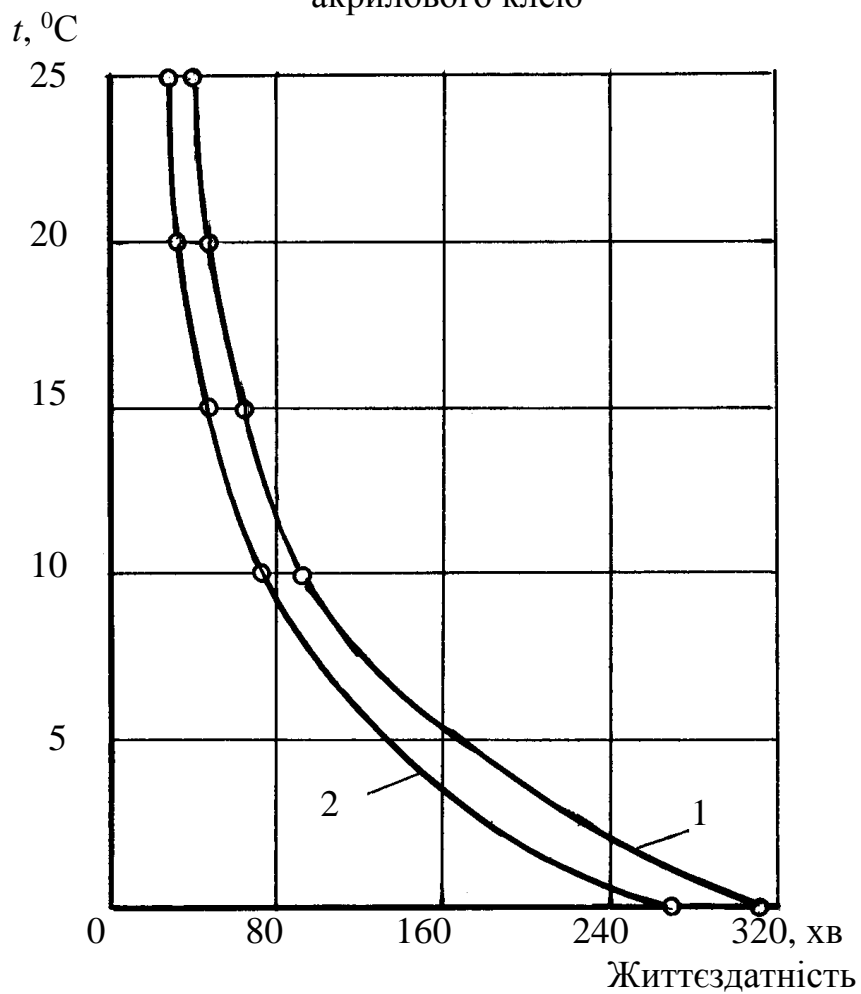


Рисунок 2.10 – Вплив температури навколишнього середовища на повну (1) і технологічну (2) життєздатність акрилового клею

Значно на життєздатність клею впливає температура навколишнього середовища (див. рис. 2.10). Зі зниженням температури технологічна життєздатність збільшується і становить 19; 27; 42; 67; 138 і 259 хв за температури 25; 20,15; 10; 5 і 0 °С. Це явище добре узгоджується з даними досліджень [105].

Проведені дослідження показали, що акриловий клей має достатню життєздатність і тому цей показник може бути використаний технологічний критерій під час розроблення клейових з'єднань будівельних конструкцій. Життєздатність його можна регулювати складом компаунда, кількістю та розміром зерен наповнювача.

Крім того, температура середовища істотно впливає на життєздатність клею, що має бути враховано під час складання технологічного регламенту до застосування клейових складів у будівельній індустрії.

2.4.1.5 Час затвердіння акрилових клеїв

Час затвердіння акрилових клеїв визначали різними методами. Одним із методів, який широко розповсюдився в промисловій практиці, є метод акустичного зондування. У цьому випадку клей заданого складу заливали в металеву форму з розміром сторін 10 см × 9 см × 9 см. У бічних поверхнях форми співвісно строго по горизонтальній осі були отвори діаметром 3,4 см, у які вставляли вишукувальні головки ультразвукового генератора (рис. 2.11), ізолювані, щоб уникнути прилипання клею шаром конденсаторного паперу. Після цього реєструвалися час проходження ультразвуку і його амплітуда до настання стабілізації вимірюваних величин. Поряд із цим вимірювали температуру затвердіння маси.

Затвердження акрилового клею відбувається за нормальної температури в присутності двокомпонентної ініціувальної (окислювально-відновної) системи, здатної викликати полімеризацію вінілових мономерів. Реакція полімеризації протікає по радикальному механізму за місцем розриву подвійного вуглеца-вуглецевого зв'язку в мономері з утворенням одинарного C – C зв'язку в полімері. Заміна подвійного ненасиченого зв'язку вуглецю з вуглецем одинарним супроводжується виділенням тепла, що призводить до значного екзотермічного ефекту, прискорює процес полімеризації [106].

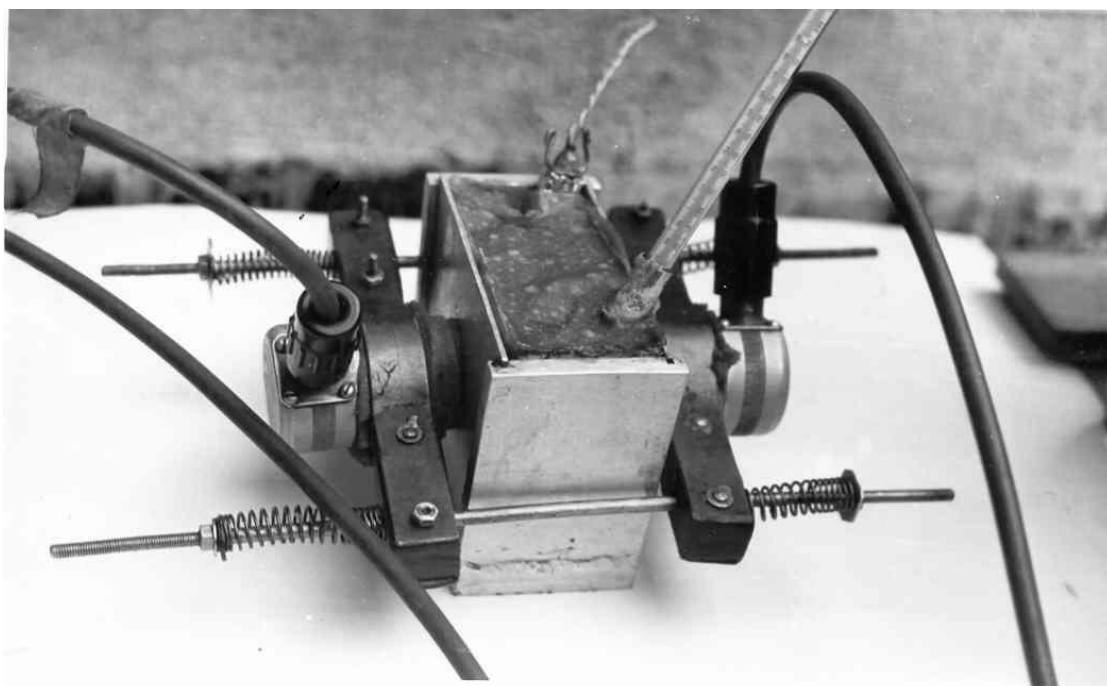


Рисунок 2.11 – Вигляд форми з акриловим клеєм і встановленими запобіжними головками ультразвукового генератора

Ініціювання реакції полімеризації акрилового компаунду здійснюється пероксидом бензоїлу, здатним легко розпадатися з утворенням вільних радикалів. Прискорювач розпаду ініціатора на вільні радикали за низьких (нормальних) температур без підігрівання забезпечує третинний амін (диметиланілін). У результаті реакції відбувається перехід електрона від аміну до пероксиду бензоїлу. Виникають іони пару і бензоатний радикал. Вільний бензоатний радикал вступає в подальшу реакцію [107].

Позитивно впливає на реакцію полімеризації впливає застосування полімеру-порошку, що дає можливість використовувати явище «гель-ефекту» [5, 9, 107]. У полімерах завдяки міжмолекулярній взаємодії утворюються фізичні зв'язки, величина яких (від 4,2 кДж/моль до 336 кДж/моль) залежить від природи взаємодійних атомних груп і взаємного розташування ланцюгів, між якими виникає фізичний зв'язок. Незважаючи на те, що окремі взаємодійні атомні групи ПММА утворюють слабкі зв'язки (кілька кДж/моль), завдяки комплектарній послідовності поліметилметакрилатних ланцюгів утворюються міцні фізичні зв'язки на зразок зшитого полімеру [108], чим і пояснюється висока міцність клею.

У полімер-мономерній композиції фізико-хімічні процеси затвердіння супроводжуються виділенням екзотермічного тепла. Для вивчення впливу на-

повнювача на характер протікання хімічних реакцій знімали термограми процесу полімеризації акрилової композиції.

Полімеризацію акрилового клею можна розглядати як двостадійний процес:

– нарощування маси частинок мікрогелю – акриловий клей має в'язкотекучий стан;

– шляхом нарощування частки мікрогелю послідовно входять у стикання, утворюючи єдину структуру – акриловий клей переходить в тверду фазу.

Вочевидь, що зі збільшенням ступеня конверсії (кількості груп, що прореагували) в часі зростає і міцність клею.

Дослідним шляхом встановлено [18, 54], що існує зв'язок між кінетикою зростання в часі когезійної міцності та повноти полімеризації акрилових композитів. Отже, вивчення когезійної міцності акрилового клею від часу дозволяє висловити судження про ступінь його затвердіння, а застосування акустичного методу – про ступінь його структурування [109].

Досліджено вплив на кінетику полімеризації кількості та розміру часток наповнювача, модифікатора, мономеру і температури навколишнього середовища, експериментальні дані були піддані статичній обробці [110, 111].

Для визначення впливу кількості та розміру частинок наповнювача були використані склади, у яких на 100 мас. ч. акрилового зв'язуючого вводилася певна кількість наповнювача. Зокрема, пісок із розміром зерен 0,16 мм вводили в кількості 150 мас. ч. і 200 мас. ч., із розміром зерен 0,315 мм і 0,63 мм – 200 мас. ч., вольським піском – 200, 300 і 400 мас. ч., відповідно.

Дані експериментальних досліджень свідчать про прояв екзотермії в ході процесу полімеризації, що добре узгоджується з літературними джерелами [5, 11, 38, 97, 99, 112].

Як видно з експериментальних даних, поданих на рисунку 3.12, початок тепловиділення процесу полімеризації акрилового компаунда за температури навколишнього середовища 20 °С спостерігається через 26 хв із моменту змішування його компонентів, а екстремальна температура, що дорівнює 135 °С – через 78 хвилин. У разі введення кварцового піску крупністю 0,16 мм початок процесу полімеризації сповільнюється на 11 хв і він тим більше, чим більше частки піску. Це явище, на наш погляд, пов'язано з адсорбційною взаємодією між полімером і твердою поверхнею наповнювача, що призводить до зміни умов протікання реакції формування твердої фази полімеру [113–115]. У разі введення піску крупністю 0,315 мм, вольського і розміром 0,63 мм початок полімеризації помічено через 45, 58 і 51 хв, відповідно (рис. 2.12, табл. 2.2), а досягнення екстремальної температури – через 72, 80, 84 і 91 хв після приготування клею.

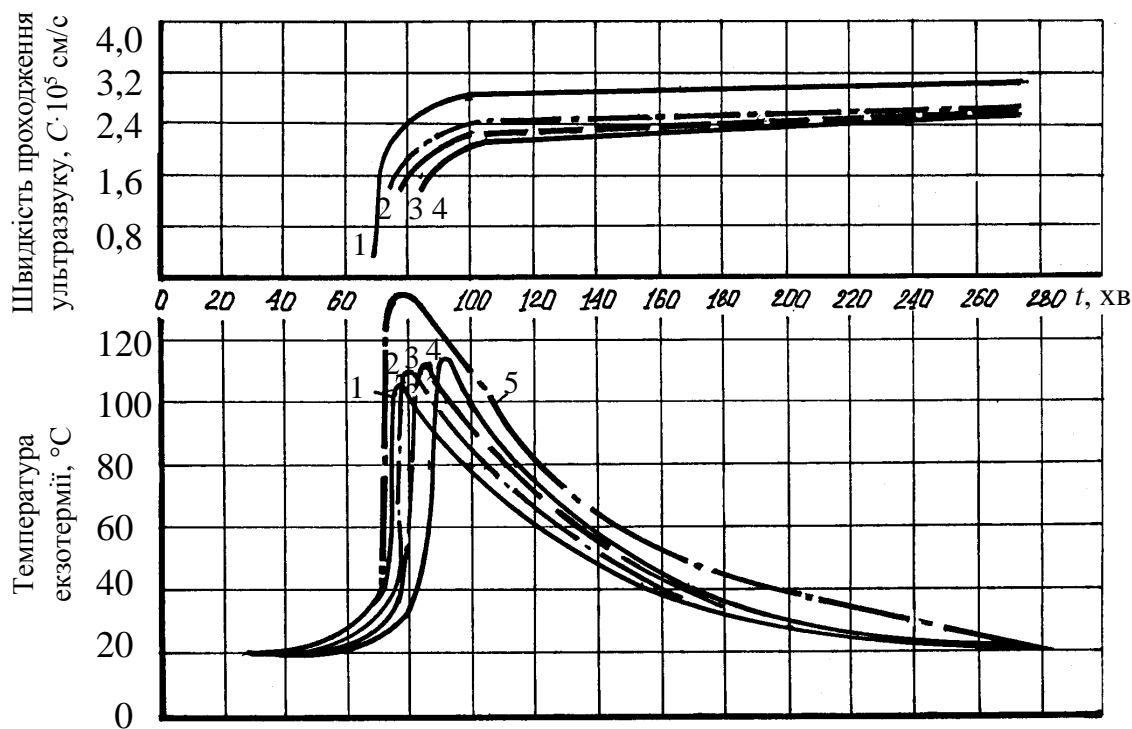


Рисунок 2.12 – Вплив крупності зерен кварцового піску на тривалість затвердіння акрилового клею. Крупність зерен:
 1 – 0,16 мм; 2 – 0,315 мм; 3 – вольський пісок; 4 – 0,63 мм;
 5 – акриловий компаунд без наповнювача

Варто зазначити, що екзотермічний пік у ненаповненому компаунді з'являється дещо пізніше, ніж у разі використання дрібного (0,16 мм) піску – через 78 хвилин. Вочевидь, за цієї концентрації піску частка сполучного на межі розділу з наповнювачем збільшується і полімеризація на поверхні твердого тіла протікає швидше, ніж загалом.

Збільшення кількості вольського піску в 2 рази спричинило за собою уповільнення початку полімеризації на 5 хв (рис. 2.13 і табл. 2.1), що пов'язано з утворенням додаткових структурних вузлів і зниженням молекулярної рухливості. Надалі реакція полімеризація прискорювача – час появи екзотермічного піку зменшується від 84 хв до 75 хв, що також пояснюється збільшенням центрів структуроутворення.

У складах 5, 6 і 7 використаний вольський пісок розміром 0,63 мм.

Вплив кількості мономеру на тривалість полімеризації встановлюється в результаті дослідження затвердіння клею за температури 25 °С складів № 2–5 (табл. 2.1). Збільшення кількості мономеру вдвічі уповільнює початок реакції на 12 хв, а час полімеризації до екстремальної температури – на 11 хв (рис. 2.14 і табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Кінетика полімеризації модифікованого акрилового клею залежно від наповнювача за 20 °С (модифікатор – 6 мас. ч. ZnO)

Склад клею, мас. ч.	Крупність піску	Тривалість полімеризації, хв					
		t_1	t_2	Екзотермічний пік		t_4	t_5
				t_3	$t, ^\circ\text{C}$		
100 : 100	–	26	66	78	135	200	280
100 : 100 : 200	0,16 мм	37	67	72	108	190	280
100 : 100 : 200	0,315 мм	45	71	80	110	192	282
100 : 100 : 200	0,63 мм	51	77	91	114	196	285
100 : 100 : 200	вольський	48	74	84	112	194	284
100 : 100 : 300	вольський	50	69	78	102	190	280
100 : 100 : 300	вольський	53	67	75	93	186	278

Примітка. У таблиці t_1 – час з моменту змішування компонентів пластмаси до початку екзотермії; t_2 – до екзотермії, що дорівнює 30 °С; t_3 – до моменту появи екзотермічної піку; t_4 – до температури 30 °С у період полімеризації; t_5 – час зниження температури клею до температури навколишнього середовища

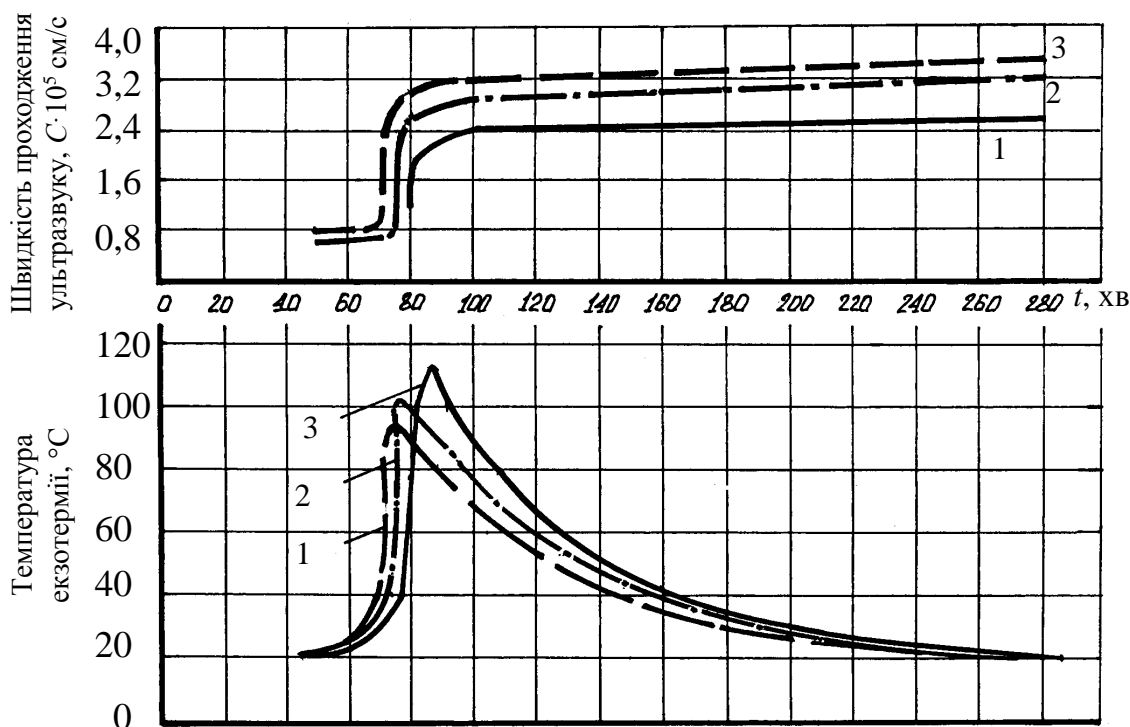


Рисунок 2.13 – Вплив кількості кварцового піску на тривалість затвердіння акрилового клею. Вольський пісок за масою: 1 – 200; 2 – 300; 3 – 400

Таблиця 2.3 – Кінетика полімеризації модифікованого акрилового клею залежно від вмісту мономера за 25 °С (Модифікатор – 6 мас. ч. ZnO)

Кількість мономера, мас. ч.	Тривалість полімеризації, хв					
	t_1	t_2	Екзотермічний		t_4	t_5
			t_3	$t, ^\circ\text{C}$		
80	20	32	46	108	150	200
100	24	35	49	111	156	215
120	27	37	52	108	157	217
140	29	40	54	106	158	218
160	32	44	56	104	159	220

Вигляд екзотермічних кривих процесу полімеризації модифікованого акрилового клею різних складів вказує на їхню ідентичність. На початковій стадії процес полімеризації розвивається повільно. Протягом 20 хв із моменту появи екзотермічного тепла температура досліджуваного клею збільшується до 30–40 °С. Потім, за 1–2 хв, вона піднімається ще на 10 °С і за наступні 3–4 хв досягає максимуму (екзотермічного піку), що становить понад 100 °С. Надалі спостерігається рівномірне зниження температури реакційної системи до рівня навколишнього середовища (через 278–285 хв). У період охолодження характерною точкою на екзотермічних кривих (рис. 2.14 і 2.15) є 30 °С, до якої наближаються в часі всі криві, незалежно від складу акрилового клею, величини і часу досягнення екзотермічної піку. Після чого зміна температури у всіх складах проходить паралельно.

У наповнених клейових системах унаслідок вибіркової адсорбційної взаємодії частина активних функціональних груп може блокуватися і не брати участі в реакції полімеризації, що позначається на тепловому ефекті. У нашому випадку наявність наповнювача знижує температуру прояви екзотермічного ефекту – чим менше крупність частинок наповнювача і чим більше його кількість, тим нижче температура (рис. 2.14, 2.15 і табл. 2.3) – від 135 °С для ненаповненого компаунда до 93 °С – за 400 мас. ч. вольського піску.

Дослідження акустичним методом показали: інтенсивне затвердіння акрилового клею здійснюється в момент різкого підвищення температури до максимальної, що на графіку швидкості проходження ультразвуку через полімеризувальний клей (див. рис. 2.12, 2.13) відображено вертикальною прямою. У разі досягнення максимальної температури (екзотермічного піку) клей переходить у тверду фазу.

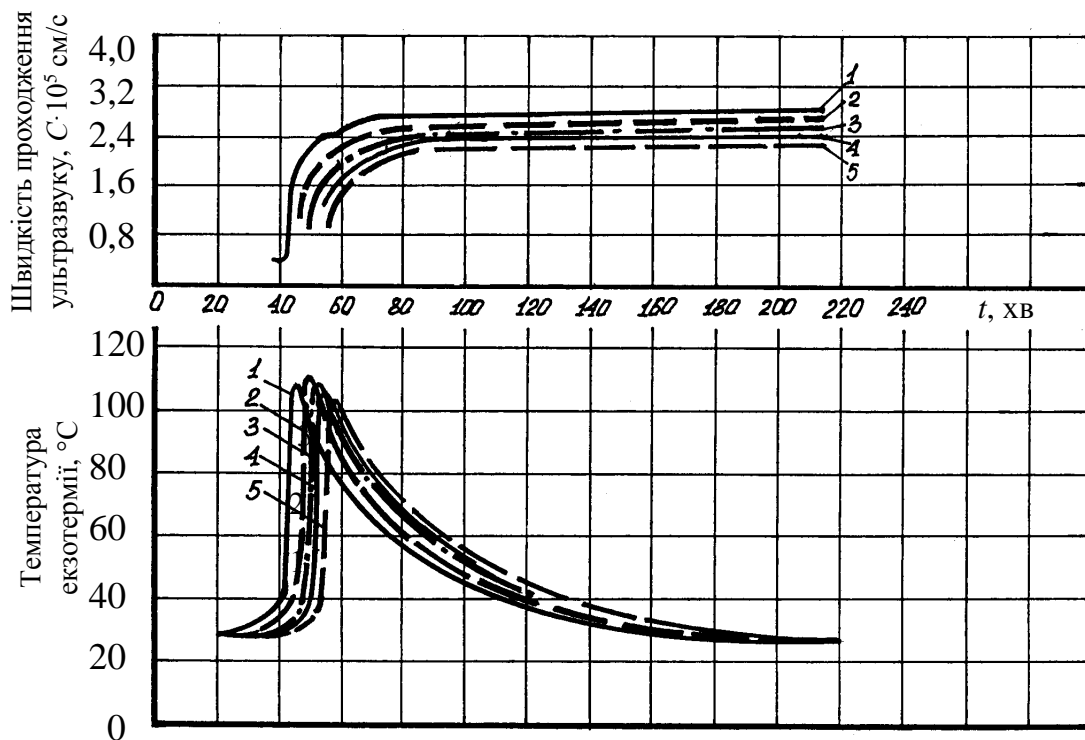


Рисунок 2.14 – Вплив кількості мономеру на тривалість затвердіння акрилового клею. Мономер за масою: 1 – 80; 2 – 100; 3 – 120; 4 – 140; 5 – 160

Надалі швидкість проходження ультразвуку знижується і до моменту охолодження клею до температури, яка дорівнює 30 °С, стабілізується. Водночас зі збільшенням кількості мономеру і кварцового піску швидкість проходження ультразвуку збільшується, а зі збільшенням крупності зерен наповнювача – знижується, що можна пояснити зростанням центрів структуроутворення [116].

Отже, інтенсивність затвердіння розглянутих складів клею зростає зі збільшенням вмісту кварцового піску і зменшенням його крупності, що свідчить про роль наповнювача як структуроутворювальної домішки. Тривалість затвердіння за 30 °С змінюється від 75 хв до 91 хв залежно від складу. На підставі акустичного методу дослідження можна стверджувати, що максимальне структуроутворення за вказаної температури відбувається протягом перших двох годин, що підтверджується дослідженнями з вивчення когезійної міцності модифікованих акрилових клеїв [117].

Таблиця 2.4 – Швидкість проходження ультразвуку через модифікований акриловий клей, який полімеризується, залежно від його складу

Склад клею, мас. ч. (крупність піску), мм	$t_{a.c.},$ °C	Екзотермічний пік			Стабілізація швидкості ультразвуку		
		$t_1,$ хв	$C_1 \cdot 10^5,$ см/с	$t,$ °C	$t_2,$ хв	$C_1 \cdot 10^5,$ см/с	$t,$ °C
80 : 100 : 120 (0,16 мм)	25	46	1,96	108	145	2,74	30,7
100 : 100 : 150 (0,16 мм)	25	49	1,89	111	150	2,65	31
120 : 100 : 180 (0,16 мм)	25	52	1,80	108	155	2,46	30,8
140 : 100 : 210 (0,16 мм)	25	54	1,75	106	155	2,36	30,9
160 : 100 : 240 (0,16 мм)	25	57	1,71	104	160	2,26	29,8
100 : 100 : 200 (0,16 мм)	20	76	2,19	108	180	2,99	32
100 : 100 : 200 (0,315 мм)	20	80	1,97	110	190	2,59	30,8
100 : 100 : 200 (0,63 мм)	20	91	1,85	114	195	2,50	30,5
100 : 100 : 200 (Вольський)	20	84	1,94	112	190	2,53	31,5
100 : 100 : 300 (Вольський)	20	78	2,36	102	190	3,18	30
100 : 100 : 400 (Вольський)	20	75	2,71	93	190	3,41	29,5

Примітка. У таблиці $t_{a.c.}$ – температура навколишнього середовища; t – температура клею в момент екзотермічного піку і стабілізації швидкості ультразвуку; $t_{1,2}$ – час із моменту змішування компонентів пластмаси до появи екзотермічного піку і стабілізації швидкості ультразвуку; $C_{1,2}$ – швидкість проходження ультразвуку. Для розглянутих складів як модифікатор використано дрібнодисперсний окис цинку в кількості 6 мас. ч.

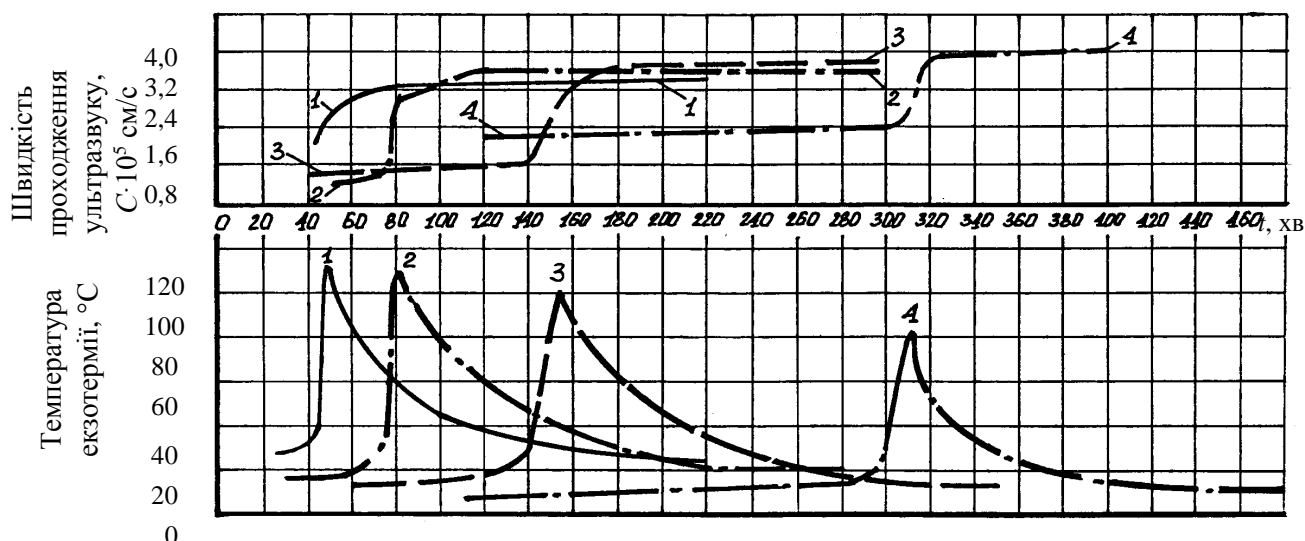


Рисунок 2.15 – Вплив температури навколишнього середовища на тривалість затвердіння акрилового клею. Температура: 1 – 25 °С; 2 – 20 °С; 3 – 15 °С; 4 – 10 °С

За основний показник під час дослідження повноти полімеризації клею була прийнята його міцність при стиску. Результати досліджень виконаних [44–46, 48], підтверджують, що інтенсивна полімеризація у всіх складах модифікованого акрилового клею проходить протягом перших трьох годин. Наприклад, у модифікованому акриловому клеї складу 100 : 100 : 150 мас. ч. (пісок розміром до 0,16 мм) і 6 мас. ч. окису цинку (модифікатор) через годину й сорок хвилин міцність склала 71,85 % від міцності (98,61 МПа) зразків цієї ж партії, витриманих протягом 30 діб у нормальних умовах. Через 2 години з моменту змішування компонентів клею, вона досягла 83,21 %, а через 24 години – 90,21 % від проектної міцності. Надалі зростання міцності різко сповільнюється і до 36 годин досягає 94,18 % (82,87 МПа), а до 96 години – 96,31 % (94,97 МПа).

Установлено [10, 12, 72, 86], що зі збільшенням кількості наповнювача інтенсивність полімеризації зростає. У той же час, за даними проведених досліджень [47, 48, 118], збільшення кількості мономеру і крупності піску за однією й тією же кількістю та вигляду модифікатора знижує інтенсивність полімеризації клею. Однак для всіх складів клею через 2 години з моменту змішування компонентів міцність досягає доволі великих величин, а через 24 год – не менше 90 % проектної міцності.

Аналіз проведених експериментальних досліджень показав, що за постійної температури навколишнього середовища швидкість полімеризації акри-

лового клею змінюється незначно, незважаючи на деякі коливання її залежно від складу. Міцність клею досягає оптимальних величин протягом доби.

Істотна зміна швидкості полімеризації відбувається під час коливання температури (рис. 2.15 і табл. 2.5).

Як видно з даних, поданих у таблиці 2.5, зі зниженням температури від 25 °С до 10 °С реакція полімеризації сповільнюється в 6 разів (за проявом екстремальної температури – t_3), що викликано більш повільною реакцією утворення активних центрів, а також зростання ланцюга.

Таблиця 2.5 – Кінетика полімеризації клею залежно від температури навколишнього середовища (пісок розміром до 0,16 мм; модифікатор – 6 мас. ч. ZnO)

Склад клею, мас. ч.	$t_{a.c.}, ^\circ\text{C}$	Тривалість полімеризації, хв				
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
100 : 100 : 150	25	24	35	49	165	215
100 : 100 : 150	20	30	70	80	185	280
100 : 100 : 150	15	65	142	153	245	350
100 : 100 : 150	10	110	301	310	346	460

За температури 25 °С через 49 хв від моменту змішування компонентів клею досягається екзотермічний пік, з температурою 131 °С (див. рис. 2.15, крива 1).

За температури 20 °С тепловиділення помічено через 30 хвилин. Протягом наступних 30 хв температура піднімається всього на 5 °С. Потім швидкість реакції полімеризації зростає до температурного піку (див. рис. 2.15, крива 2).

За температури 15 °С екзотермічний ефект (15,3 °С) помічений через 65 хвилин. Протягом наступних 58 хв температура підвищується до 20 °С, а через 24 хв – до 40 °С. Після цього за 6 хв вона піднімається за максимуму екзотермічного піку до 102 °С (див. рис. 2.15, крива 3).

За температури навколишнього середовища у 10 °С, у початковий період полімеризація протікає вкрай повільніше, складаючи через 110 хв з моменту приготування компаунда 10,2 °С. До 11,2 °С вона підвищується через 210 хв, 12 °С – 230 хв, 15 °С – 285 хвилин. Протягом наступних 15 хв температура підвищується до 29 °С, 10 хв – до екзотермічного піку, що дорівнює 82 °С. Зниження до температури навколишнього середовища відбувається протягом 150 хв (див. рис. 2.15, крива 4).

Згідно з даними із літературних джерел [61, 94, 97, 107, 119] з підвищенням температури збільшується швидкість процесу радикальної полімеризації шляхом прискорення реакції утворення активних центрів, а також зростання ланцюга, що підтверджується дослідженнями. Варто зауважити, що значне збільшення тривалості полімеризації спостерігається за температури навколишнього середовища нижче 20 °С (див. рис. 2.15). Зокрема за температури від 0 °С до 3 °С акриловий клей полімеризується до моменту появи екстремальної температури протягом 809 хвилин. У той же час встановлено можливість застосування цього клею за вказаною температури без додаткових заходів.

Дослідження акустичним методом показали (див. рис. 2.15), що в початковий період швидкість проходження ультразвуку за температури 20 °С, 15 °С і 10 °С відповідно становить 0,695; 1,16 і 1,45 · 10⁵ см/с, а в момент піку – 2,135; 2,273 і 2,824 · 10⁵ см/с. Вочевидь, у початковий період полімеризації клею (до екзотермічного піку) структуроутворення протікає більш інтенсивно зі зниженням температури середовища. Стабілізація швидкості ультразвуку настає за температури 25, 20, 15 і 10 °С через 160 хв, 220 хв, 280 хв і 350 хв з моменту приготування компаунда і становить відповідно 2,648; 2,792; 2,946 і 3,077 · 10⁵ см/с.

Загалом дослідження показують, що інтенсивне структуроутворення відбувається в період різкого зростання температури екзотермії – клей переходить у тверду фазу, набираючи високу міцність. Водночас незалежно від складу значне підвищення міцності за температури 20–23 °С відбувається протягом перших трьох годині з моменту приготування клею і становить у середньому близько 85 %, а через 9 год – 90 % проєктної міцності. Зі зниженням температури середовища реакція полімеризації сповільнюється. Проте виявлена можливість полімеризації клею за температури, близької 0 °С, без додаткових заходів.

Експерименти із визначення впливу модифікувальних домішок показали, що вони не впливають на час затвердіння акрилових клеїв.

Таким чином, радикальне затвердіння клеїв має низку переваг: можливість швидкого затвердіння за кімнатної температури, що в низці випадків може забезпечувати відсутність у клейовому шві термічних напружень, часто виникають у конструкціях при склеюванні за високих температур; менша витрата енергії, а також можливість більшої монолітності клейового шару.

2.4.2 Когезійна міцність і фізико-механічні властивості акрилового клею

Когезійну міцність акрилового клею встановлювали випробуванням зразків короточасним статичним навантаженням при розтягуванні, вигині, стискуванні та зсуві. Схеми для випробувань подані на рисунку 2.16, виготовлені зразки – на рисунку 2.17.

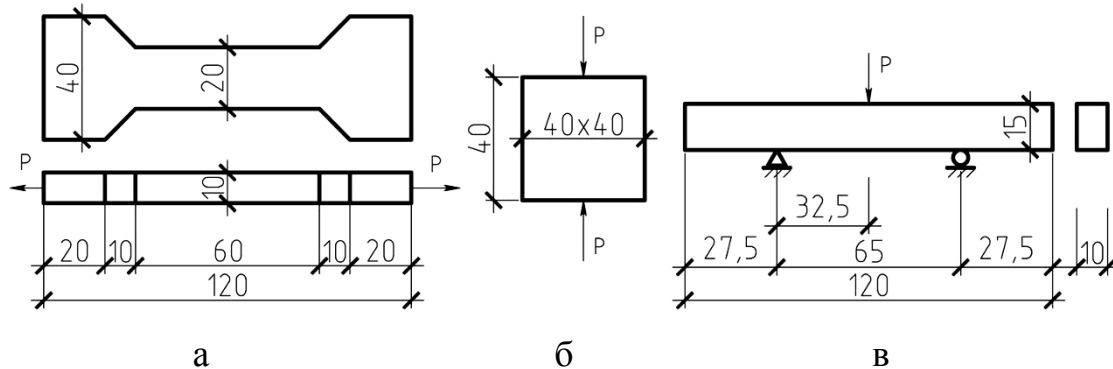


Рисунок 2.16 – Схема випробувань зразків акрилового клею на розтяг (а);
стиск (б); вигин (в)

Для випробування на стиск використовували зразки-кубики з розміром ребра 40 мм. Зразки випробовували на пресі ПГ-100 зі шкалою силовимірювача 250 кН і ціною поділки 100 Н. Схема випробувань показана на рисунку 2.16, а.

Визначення короточасної міцності клею при вигині здійснювали на зразках-балочках довжиною 120 мм і поперечним перерізом 10 мм × 15 мм. Випробування виконували на пресі FP 100/1 зі шкалою силовимірювача 100 кН і ціною поділки шкали 0,05 кН із застосуванням спеціальних пристосувань для захоплення за схемою, поданого на рисунку 2.16, в. Зразок навантажували безперервно аж до його руйнування з реєстрацією максимуму навантаження і оцінкою характеру руйнування.

Межу міцності при вигині підраховували за формулою:

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (2.1)$$

де M – максимальний згинальний момент, що передусе руйнуванню;

W – момент опору площі поперечного перерізу балки.

Випробування акрилового клею на розтягнення (рис. 2.16, а) здійснювали на зразках – вісімка з довжиною робочої частини 60 мм і поперечним перерізом 10 мм × 20 мм у спеціальному пристосуванні типу Schopper зі шкалою силувимірвача 10 кН. Схеми випробувань наведені на рисунку 2.16, а, вид зразків, підготовлених до випробування показів, на рисунку 2.16.

За вимірної площі поперечного перерізу і максимального руйнівного навантаження встановлювали межу міцності на розтягування та стиснення:

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{F_0}, \quad (2.2)$$

де P_{\max} – максимальне зусилля, що передує руйнуванню;

F_0 – площа поперечного перерізу.

Одна з основних властивостей, за яким здійснюється підбір складу клею, зокрема для клейового анкерування арматури, є когезійна міцність на зріз. Це пояснюється тим, що в процесі завантаження арматури, заанкереної в бетоні клеєм, останній буде зрізати між виступами арматури після порушення адгезії. Це, зрештою, буде визначати несучу здатність анкерування.

Під час випробування зразків акрилового клею на зріз використовували спеціальне оснащення, для випробувань виливків клею розміром 5 см × 5 см × 2,5 см. Схема проведення випробувань на зріз показана на рисунку 2.17, вид оснащення – на рисунку 2.17. Зразки виготовляли в касетній формі по 6 штук у партії. Заповнення форм клеєм здійснювали самопливом без ущільнення. Перед випробуванням верхню межу зразка підганяли до форми шліфуванням.

Деформації визначали на призмах 40 мм × 40 мм × 160 мм. Вимірювання виконували методом електротензометрії на пресі ПГ-100 зі шкалою силувимірвача 250 кН. На кожную грань зразка вздовж і перпендикулярно лінії дії навантаження наклеювали по чотири тензорезистора типу ПКБ-20-300. Тензорезистори з'єднували між собою послідовно, що дало змогу отримати усереднені дані за величиною поздовжніх і поперечних деформацій. Останні вимірювали за допомогою тензометричної станції SA-2 у комплекті з багатоточечним комутатором.

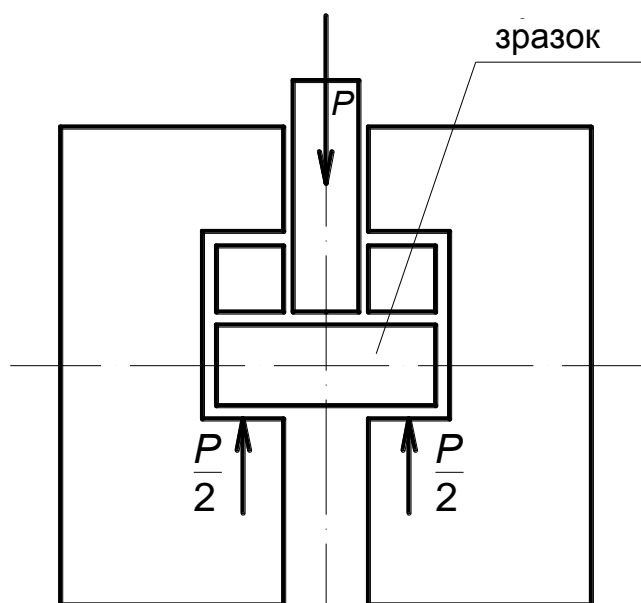


Рисунок 2.17 – Схема випробування зразків акрилового клею на зріз

Навантаження на зразки після їхнього центрування по фізичній осі прикладали ступенями по $0,1 R_e$ аж до руйнування. На кожному ступені навантаження фіксували величину поздовжніх і поперечних деформацій.

2.4.2.1 Визначення когезійної міцності акрилового клею

Важливою характеристикою, що визначає властивості акрилового клею, є когезійна міцність. Когезійна міцність акрилових клеїв досліджувалася випробуванням зразків короточасного статичного навантаження при стисненні, розтягненні, вигині та зсуві.

Міцність дисперсно-наповненої акрилової композиції змінюється в залежності від модифікувальних домішок природи, складу та розміру частинок наповнювача, міцності зчеплення наповнювача з матрицею і характеру руйнування матриці.

Результати експериментів із визначення когезійної міцності зразків акрилового клею різних складів подані в таблицях 2.6–2.9.

Аналіз результатів випробувань при стисканні зразків акрилових клеїв досліджуваних складів, поданий в таблиці 2.3, показав такі результати.

Міцність основного складу № 1 із вмістом наповнювача – кварцового піску крупністю фракцій 0,14 мм у кількості 52,85 % досягає 82,61 МПа за коефіцієнта однорідності $k_{одн.} = 0,967$. У складі № 2 зі збільшенням розміру часток піску до 0,315 мм кількість наповнювача зменшується до 50,85 %, а так само межа міцності знижується на 2 МПа, у складі № 3 за подальшого збільшення

крупності наповнювача до 0,63 мм відбувається зниження, як його кількості до 45,47 %, так і межі міцності на 20,18 МПа, що в 1,32 рази менше порівняно зі складом № 1.

Таблиця 2.6 – Коєзійна міцність акрилового клею різних складів при стиску

Межа міцності при стиску, МПа				
Номер складу	Межа міцності	Стандартне відхилення	Коефіцієнт однорідності	Коефіцієнт варіації
1	82,61	0,996	0,967	1,10
2	79,59	1,046	0,961	1,31
3	62,43	0,713	0,960	1,09
4	98,27	1,087	0,968	1,11
5	96,33	1,484	0,954	1,54
6	98,1	0,995	0,983	1,35
7	97,4	0,852	0,975	1,40
8	95,36	0,839	0,966	1,23
9	97,32	0,783	0,987	1,13
10	97,3	1,318	0,960	1,07
11	90,76	1,247	0,984	1,30
12	97,5	1,010	0,980	1,30
13	96,63	1,211	0,963	1,25
14	96,82	1,350	0,970	1,45
15	92,37	0,956	0,986	1,40

Для складу № 4 з домішкою окису цинку в кількості 2,5 % межа міцності складала 98,27 МПа за коефіцієнта однорідності $k_{одн.} = 0,968$, що істотно (у 1,57 разів) більше, ніж для складу № 3. Так само суттєво збільшення міцності до 98,1 МПа в складі № 6 зі вмістом за масою метакрилового ангідриду в кількості 10 %, параксилольної фракції – 23,5 % наповнювача замість кварцового піску, а так само сополімеру КОРС – 15 %, коефіцієнт однорідності складу клею змінюється не суттєво, $k_{одн.} = 0,954$.

Підвищення міцності акрилового клею до 97,4 МПа у складі № 7 відбувається шляхом уведення до складу домішки відходів азбестового текстильного виробництва в кількості 4 % і диетиленглікольдиметакрилату – 7 % від маси всієї клейової композиції, коефіцієнт однорідності підвищується не суттєво $k_{одн.} = 0,975$.

У складах № 9, 10, 12 міцність на стиск коливається від 97,3 до 97,5 МПа, що перевищує міцність основного клейового складу в 1,59 рази. Межа міцності складу № 9 з домішками полівінілхлоридної хлорованої смоли 2 % за масою і 2,7 % оксиду цинку становить 97,32 МПа, коефіцієнт однорідності незначно підвищується, $k_{одн.} = 0,987$. Зразки з акрилового клею складу № 10 з додаванням меленої слюди 17 % та акрилової сополімерної смоли АКС-02 9 % у результаті випробувань на стиск показали міцність 97,3 МПа, за коефіцієнта однорідності $k_{одн.} = 0,960$. Межею міцності на стиск у 97,5 МПа за коефіцієнта однорідності $k_{одн.} = 0,980$ характеризується склад № 12 з домішками меленої слюди 6 % за масою і метилового ефіру 2-ціанакрилової кислоти 9 %.

Експерименти показали, що в складах № 5, 13, 14 в 1,55 рази підвищується міцність порівняно зі складом № 3, відповідно межа міцності на стиск коливається від 96,33 МПа до 96,82 МПа. Зразки з акрилового клею складу № 5 з кварцовим піском крупністю 0,14 мм як наповнювача і домішками: меленої слюди в кількості 8 % від маси і гліцидилметакрилата – 8 %. У результаті випробувань на стиск цей склад показав міцність 96,33 МПа, за коефіцієнта однорідності $k_{одн.} = 0,954$. Підвищення межі міцності до 96,63 МПа відбувається в складі № 13 шляхом додавання меленої слюди 6 % від маси, α – метилстиролу 6 % і 2 % акрилонітрилу, а коефіцієнт однорідності $k_{одн.} = 0,963$.

Для складу № 14 межа міцності дорівнює 96,82 МПа, що збільшує міцність акрилового клею в тому ж співвідношенні, що і склади № 5, 13. У 1,45 рази (90,76 МПа) підвищують міцність при стисненні домішки відходів азбестового текстильного виробництва 5 % від маси клею і 6 % полівінілбутирала в складі № 11, коефіцієнт однорідності $k_{одн.} = 0,984$.

Для складу № 15 межа міцності становить 92,37 МПа, коефіцієнт однорідності дорівнює $k_{одн.} = 0,986$, домішками є стирольно-інденова смола 5 %, полівінілбутираль 6 % і 78 % пісок з електропічного силікомарганцю як наповнювача.

Результати випробувань на міцність акрилових клеїв при розтягуванні показані в таблиці 2.7. Зі збільшенням крупності наповнювача кварцового піску міцність на розтягнення знижується. Зокрема, для складу № 1 вона склала 16,65 МПа за $k_{одн.} = 0,947$, а для складу № 2 із розміром зерен 0,14 мм – 14,65 МПа, $k_{одн.} = 0,956$, і для складу № 3 із наповнювачем 0,63 мм – 11,21 МПа, $k_{одн.} = 0,965$.

Введення модифікувальних домішок до складу клею підвищує міцність при розтягуванні в 3,4 рази до 38,9 МПа.

Найвищим показником міцності при розтягуванні 38,9 МПа, коефіцієнт однорідності $k_{одн.} = 0,950$ характеризується склад № 15 з домішками стирольно-інденової смоли 5 %, полівінілбутирала 6 % і наповнювача піску з електропічною силікомарганцю 78 %.

Установлену межу міцності для складу № 8 дорівнює 36,1 МПа, що в 3,22 перевищує міцність основного складу акрилового клею за коефіцієнта однорідності $k_{одн.} = 0,950$. Так само суттєво в 3,19 рази підвищують міцність при розтягуванні домішки, введені в складах № 5, 6, 9. Для складу № 5 з домішками меленої слюди і гліцидилметакрилата межа міцності на розтяг дорівнює 35,79 МПа, $k_{одн.} = 0,968$. Для складу № 6 з домішками метакрилового ангідриду, сополімеру КОРС з ангідридами кислот і наповнювачем параксилольною фракцією 23,5 % межа міцності на розтягнення становить 35,2 МПа, $k_{одн.} = 0,968$. Межа міцності в складі № 9 за результатами експериментальних досліджень дорівнює 35,1 МПа за коефіцієнта однорідності $k_{одн.} = 0,924$.

Таблиця 2.7 – Когезійна міцність акрилового клею різних складів при розтягу

Межа міцності при розтягу, МПа				
Номер складу	Межа міцності	Стандартне відхилення	Коефіцієнт однорідності	Коефіцієнт варіації
1	16,65	0,296	0,947	1,78
2	14,65	0,213	0,956	1,45
3	11,21	0,131	0,965	1,17
4	34,8	0,22	0,964	1,2
5	35,79	0,189	0,968	1,07
6	35,2	0,235	0,926	1,02
7	34,9	0,233	0,918	1,12
8	36,1	0,241	0,950	1,23
9	35,1	0,234	0,924	1,34
10	29,2	0,195	0,968	1,30
11	28,4	0,189	0,947	1,52
12	33,1	0,221	0,971	1,10
13	33,3	0,222	0,976	1,70
14	32,8	0,219	0,963	1,61
15	38,9	0,259	0,950	1,06

У складах № 4, 7, 12, 13 під час введення модифікувальних домішок межа міцності на розтяг коливається від 33,1 до 34,9 МПа. Зокрема, для складу № 12 за додавання 2,5 % оксиду цинку межа міцності дорівнює 33,1 МПа при коефіцієнті однорідності $k_{одн.} = 0,971$. Незначне підвищення межі міцності до 33,3 МПа відбувається в складі № 13 за додавання меленої слюди 6 % від маси, α -метилстирола 6 % і 2 % акрилонітрилу, коефіцієнт однорідності $k_{одн.} = 0,976$.

Для складу № 4 з домішкою окису цинку в кількості 2,5 % міцність на розтягнення збільшилася до 34,9 МПа в 3,11 рази порівняно зі складом № 3 за коефіцієнта однорідності $k_{одн.} = 0,918$. Підвищення міцності акрилового клею до 34,9 МПа у складі № 7 відбувається завдяки введенню до складу домішки відходів азбестового текстильного виробництва в кількості 4 % і диетіленглікольдиметакрилату – 7 % від маси всієї клейової композиції, коефіцієнт однорідності знижується не суттєво $k_{одн.} = 0,918$.

Експериментальні дані показують, що найменш ефективними, а порівняно з отриманими результатами, виявилися домішки, введені в складі № 10, 11, 15 тут межа міцності коливається від 19,2 до 32,8 МПа, коефіцієнт однорідності коливається не суттєво від 0,947 до 0,968.

У таблиці 2.8 подані результати випробувань зразків акрилових клеїв досліджуваних складів під час випробування на вигин. Аналіз цих результатів показав такі результати. Міцність при згині акрилового клею наповненого тільки кварцовим піском (склад № 1-3), із різним модулем крупності склала для складу № 1 – 1,71 МПа за $k_{одн.} = 0,975$, для № 2 – 28,31 МПа за $k_{одн.} = 0,967$ МПа, а для № 3 з крупністю піску 0,63 знизилася до 23,68 МПа. Отже, спостерігалось зниження міцності клею зі збільшенням крупності піску.

Для складу № 9 із домішками полівінілхлоридної хлорованої смоли 2 % за масою та 2,7 % оксиду цинку межа міцності підвищилася не суттєво і дорівнює 36,25 МПа за коефіцієнта однорідності $k_{одн.} = 0,986$.

Найбільш ефективно для підвищення міцності на вигин вплинула домішка 2,5 % окису цинку, введена до складу № 4. Для нього межа міцності на вигин дорівнює 36,94 МПа за $k_{одн.} = 0,964$, що на 16 % більше показника міцності для основного складу № 1. Так само міцність до 35,92–35,43 МПа підвищили домішки в складах № 7 і 8. Дещо нижче виявилася міцність зразків для складів № 5 і 6, для них межа міцності дорівнює 34,9 і 34,6 МПа відповідно, за коефіцієнта однорідності 0,956 і 0,950.

Експерименти показали, для інших складів межа міцності (28,19 до 32,63 МПа) і коефіцієнт однорідності (0,955–0,986) коливався незначно. Ці

значення вище міцності основного складу акрилового клею, поданого в таблиці під № 1.

Таблиця 2.8 – Когезійна міцність акрилового клею різних складів при вигині

Межа міцності при вигині, МПа				
Номер складу	Межа міцності	Стандартне відхилення	Коефіцієнт однорідності	Коефіцієнт варіації
1	2	3	4	5
1	31,71	0,322	0,957	0,83
2	28,31	0,389	0,967	1,10
3	23,68	0,335	0,967	1,09
4	36,94	0,538	0,964	1,20
5	34,9	0,620	0,956	1,46
6	34,6	0,310	0,950	1,10
7	35,92	0,440	0,973	1,09
8	35,43	0,336	0,970	1,08
9	36,25	0,383	0,986	1,19
10	30,16	0,498	0,981	1,09
11	28,19	0,394	0,983	0,96
12	30,08	0,541	0,955	1,00
13	29,5	0,423	0,966	0,88
14	29,26	0,597	0,972	0,81
15	32,63	0,463	0,980	0,76

Результати випробувань зразків акрилових клеїв досліджуваних складів на зріз подані в таблиці 2.9. Аналіз цих результатів показав такі результати. Міцність на зріз акрилового клею складів № 1–3, наповнених кварцовим піском, зменшувалася зі збільшенням його крупності. Для складу № 1 вона складала 29,49 МПа ($k_{одн.} = 0,968$), для № 2 – 27,76 МПа ($k_{одн.} = 0,963$) і для № 3 знизилася до 25,69 ($k_{одн.} = 0,969$).

Введення окису цинку в складі № 4 і меленої слюди з гліцидилметакрилатом у складі № 5 істотно підвищило його міцність на зріз до 32,93 МПа ($k_{одн.} = 0,944$) і 37,1 МПа ($k_{одн.} = 0,967$) відповідно. Так само в 1,23 рази до 35,2 МПа підвищилася межа міцності на зріз, за $k_{одн.} = 0,968$. Для складу № 6 із домішками метакрилового ангідриду, сополімеру КОРС з ангід-

ридами кислот і наповнювачем параксилольною фракцією 23,5 %. Домішки, введені в інші склади, незначно вплинули на міцність зразків під час випробувань на зріз, межа міцності коливалася від 34,26 МПа до 35,8 МПа.

Таблиця 2.9 – Коhezійна міцність акрилового клею різних складів при зрізі

Межа міцності при зрізі, МПа				
Номер складу	Межа міцності	Стандартне відхилення	Коефіцієнт однорідності	Коефіцієнт варіації
1	2	3	4	5
1	29,49	0,295	0,968	1,07
2	27,76	0,279	0,963	1,24
1	2	3	4	5
3	24,69	0,181	0,969	1,04
4	32,93	0,42	0,944	1,88
5	37,1	0,365	0,967	1,09
6	36,52	0,304	0,963	1,05
7	34,7	0,289	0,954	1,26
8	35,8	0,298	0,906	1,03
9	34,62	0,216	0,974	1,03
10	35,1	0,439	0,962	1,51
11	34,9	0,218	0,972	1,15
12	35,8	0,179	0,906	1,12
13	34,26	0,214	0,912	1,19
14	36,3	0,182	0,908	1,07
15	35,72	0,223	0,974	1,12

Експерименти показують, що введення модифікувальних домішок підвищує міцність на стиск акрилового клею від 90,76 МПа до 98,1 МПа, що на 36 % більше порівняно з основним складом № 1, у якому міститься перекис бензоїлу, диметиланілін і кварцовий пісок фракції 0,14 мм. При розтягуванні міцність збільшилася до 28,4–38,9 МПа, найбільш ефективні домішки стирольно-інденової смоли, полівінілбутирала і піску з електропічного силікомарганцю як наповнювача.

Міцність зразків акрилового клею на вигин у разі введення домішок коливалася від 31,3 МПа до 44,95 МПа, тут значно вплинула домішка окису цинку. У 1,23 рази збільшують міцність на зріз домішки меленої слюди з гліциди-

лметакрилатом до складу акрилового клею, тим самим підвищуючи межу міцності до 35,1–37,1 МПа.

Аналіз результатів досліджень когезійної міцності різних складів акрилового клею показав, що найбільш високі характеристики міцності мають клеї складів: № 4, що містить наповнювач кварцовий пісок із модулем крупності 0,14 і домішку окису цинку, № 5 із домішкою меленої слюди і гліцидилметакрилату, № 6 із наповнювачем із параксилольної фракції, метакриловим ангідридом і сополімером КОРС, а також склад № 15 із вмістом стирольно-інденової смоли, домішкою диетиленгліколь-диметакрилата і наповнювачем з піску електропічного з ілікомарганця.

2.4.2.2 Деформаційні властивості

Випробування на стиск і розтяг зразків акрилового клею досліджуваних складів за швидкості навантаження 0,6 МПа/с (рис. 2.21) показали, що деформації мають лінійний характер до напружень, що дорівнюють 80–86 % від руйнівних. Під час навантаження зразків акрилового клею до величин, що дорівнюють 0,8 від межі міцності, відбувалася їхня редеформація за вказаними графіками і незалежно від швидкості навантаження. Вочевидь, ці деформації є пружними.

Проведені експерименти із визначення деформативності акрилових клеїв різного складу та їхнє оброблення методом математичної статистики [111] дозволили отримати емпіричні вирази залежності деформацій ε від напруг σ . Зокрема, для складу № 1 вони мають вигляд:

– при стиску

$$\varepsilon = -2,46 + 7,41\sigma - 1,12\sigma^2. \quad (2.3)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,997$;

– при розтягу для поздовжніх деформацій

$$\varepsilon = -1,13 + 1,95\sigma + 1,1\sigma^2. \quad (2.4)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,985$;

– при розтягу для поздовжніх деформацій

$$\varepsilon = -1,42 + 7,91\sigma - 2,86\sigma^2. \quad (2.5)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,854$.

Для складу № 2:

– при стиску

$$\varepsilon = -1,49 + 5,84\sigma + 65,35\sigma^2. \quad (2.6)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,989$;

– при розтягу для поздовжніх деформацій

$$\varepsilon = 1,24 + 1,69\sigma + 1,03\sigma^2. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,978$.

Для складу № 3:

– при стиску

$$\varepsilon = -1,64 + 4,91\sigma + 6,35\sigma^2. \quad (2.8)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,921$;

– при розтягу для поздовжніх деформацій

$$\varepsilon = 2,81 + 1,36\sigma + 1,03\sigma^2. \quad (2.9)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,952$.

Склад № 4:

– при стиску

$$\varepsilon = -1,12 + 7,34\sigma - 5,74\sigma^2. \quad (2.10)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,992$;

– при розтягу для поздовжніх деформацій

$$\varepsilon = -7 + 2,49\sigma + 2,17\sigma^2. \quad (2.11)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,987$.

Склад № 5:

– при стиску

$$\varepsilon = -1,74 + 7,42\sigma - 8,82\sigma^2. \quad (2.12)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,998$;

– при розтягу для поздовжніх деформацій

$$\varepsilon = -3,19 + 2,33\sigma - 7\sigma^2. \quad (2.13)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,985$.

Після отримання залежностей 2.3–2.13 побудовані графіки поздовжніх деформацій (рис. 2.21) під час досліджень зразків клеїв на стиск і розтяг.

Для зразка клею складу № 1, наприклад, під час випробування на розтяг, графіки (рис. 4.21) розвитку деформації поздовжніх та поперечних визначаються за виразом

$$\varepsilon = -1,42 + 7,91\sigma - 2,86\sigma^2. \quad (2.14)$$

Коефіцієнт кореляції $R = 0,854$.

Для оцінки точності та надійності результатів статистичної обробки результативної показані довірчі інтервали. Порівняння величин, обчислених за виразами (2.3) і (2.14) з отриманими в результаті випробувань даними, показує, що вони не виходять за межі довірчої смуги.

Аналіз результатів випробувань показав такі результати. Під час випробування зразків клею на стиск напруги $\sigma > 0,75R_{np}$, аналогічно з епоксидними композиціям також характерно розвиток поздовжніх деформацій, які показані на рисунку 2.21, а. Це є наслідком порушення цілісності матеріалу, про що свідчить величина коефіцієнта збільшення поперечної деформації, підрахованого по приросту $\nu > 0,5$.

Залежності (2.3) і (2.14) дійсні до рівня напружень $\sigma > 0,95R_{np}$. Помітне відхилення дослідних даних деформацій пов'язано з седиментацією в композиції у разі введення мінерального наповнювача. Якщо таке явище мало позначається на кубиковій міцності, то на величини поздовжніх і поперечних деформацій воно впливає суттєво, оскільки деформації акрилової пластмаси без наповнювача в 2–3 рази більше наповненої.

Аналіз кривих розвитку поздовжніх деформацій (рис. 2.18–2.19) показав, що деформації знижуються зі зменшенням кількості мінерального наповнювача і полімеру, оскільки збільшення кількості контактів полімерної матриці з наповнювачем закономірно спричиняє зміцнення структури наповненого полімеру і зниження його внутрішньої деформативності.

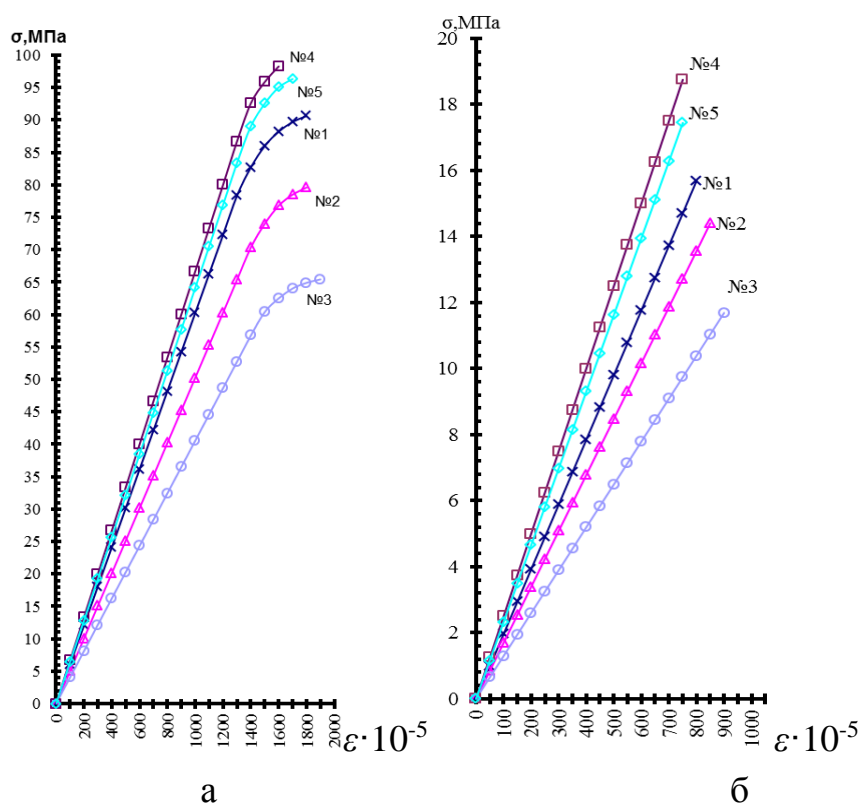


Рисунок 2.18 – Графіки розвитку поздовжніх деформацій у зразках акрилового клею за: а – стиску; б – розтягу

Одночасно з випробуваннями на міцність зразків акрилового клею були визначені їхні модулі пружності, значення яких подані в таблиці 2.7.

Аналіз таблиці 2.7 свідчить про те, що модуль пружності змінювався залежно від складу клею. Зокрема, зі збільшенням крупності піску модуль пружності підвищується: для основного складу № 1 модуль пружності E_k дорівнює $5,16 \times 10^{-3}$ МПа, для складу № 2 – $E_k = 7,6 \times 10^{-3}$, № 3 – $E_k = 9,8 \times 10^{-3}$.

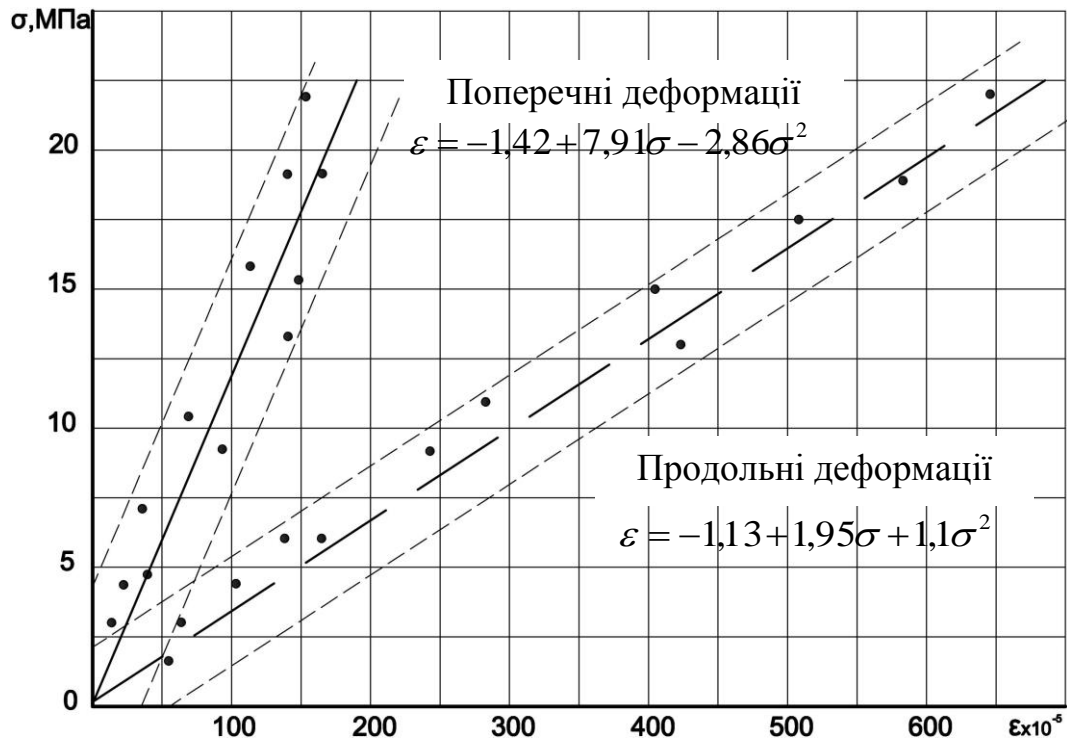


Рисунок 2.19 – Графік поздовжніх і поперечних деформацій при розтягуванні для складу № 1

Відомо, що збільшення розміру частинок наповнювача спричиняє зазвичай збільшення товщини полімерних прошарків між ними і, отже, до зменшення частки полімеру в граничних шарах [68], що повинно призводити до відносного зниження модуля пружності. Проте у цьому випадку потрібно враховувати поняття про «критичний розмір» активного наповнювача, що в разі використання його дрібнозернистих фракцій викликає певну дефектність і щільність упаковки полімеру в граничних шарах. Участь останніх у процесі деформації може давати відгук як у підвищенні, так і в зниженні пружних характеристик матеріалу.

Таблиця 2.7 – Значення модуля пружності для складів, які досліджуються

Номер складу	Модуль пружності, МПа
1	$5,16 \times 10^{-3}$
2	$7,6 \times 10^{-3}$
3	$9,8 \times 10^{-3}$
4	$5,24 \times 10^{-3}$
5	$5,26 \times 10^{-3}$
6	$5,23 \times 10^{-3}$
7	$5,27 \times 10^{-3}$
8	$5,46 \times 10^{-3}$
9	$5,26 \times 10^{-3}$
10	$5,42 \times 10^{-3}$
11	$6,05 \times 10^{-3}$
12	$5,26 \times 10^{-3}$
13	$5,34 \times 10^{-3}$
14	$5,3 \times 10^{-3}$
15	$5,87 \times 10^{-3}$

Використання домішок в акриловому клеї призводить до зниження E_k , для інших складів модуль пружності коливається незначно в межах від $5,24 \times 10^{-3}$ до $6,05 \times 10^{-3}$ МПа.

2.4.2.3 Характер руйнування зразків акрилового клею

Аналіз фізико-механічних властивостей акрилових клеїв з урахуванням виду впливу зусиль на них у з'єднаннях будівельних конструкцій та елементів дозволяє отримати уявлення про працездатність клейового з'єднання. До таких зусиль належить: стиснення, розтягнення і зріз.

Руйнування акрилового клею як твердого тіла містить три стадії – ініціювання тріщини, її повільне стабільне зростання до критичних розмірів і, нарешті, її швидке нестабільне поширення. Мікродефекти структури в обсязі самого матеріалу вже присутні, тому, ймовірно, їхня міцність визначається напругою, необхідною для поширення вже існуючих дефектів (рис. 2.20), що спостерігається на зразках акрилового клею, підданих фізико-механічним випробуванням (рис. 2.24).

У початковому стані 1 в зразку є початкові дефекти тієї ж природи, що і

мікропошкодження. Після прикладання навантаження відбувається або крихке руйнування зразка (стан 2), або йде процес накопичення мікропошкодження (стан 3). В останньому випадку можливі три варіанти. По-перше, процес накопичення може завершитися внаслідок того, що щільність мікропошкодження досягає деякого критичного значення, за якого відбувається руйнування зразка шляхом втрати цілісності (стан 4).

По-друге, в оточенні одного або декількох зруйнованих елементів структури можуть утворитися поєднання дефектів, які стануть зародками мікроскопічних тріщин. Цьому відповідає стан 5, де характерний розмір зародкової тріщини позначений l^* . Далі відбувається поступове зростання тріщини (стан 6), поки її розмір не досягне критичного значення l^{**} (стан 7). По-третє, можливо крихке руйнування 8 як завершення процесу накопичення мікропошкодження [119].

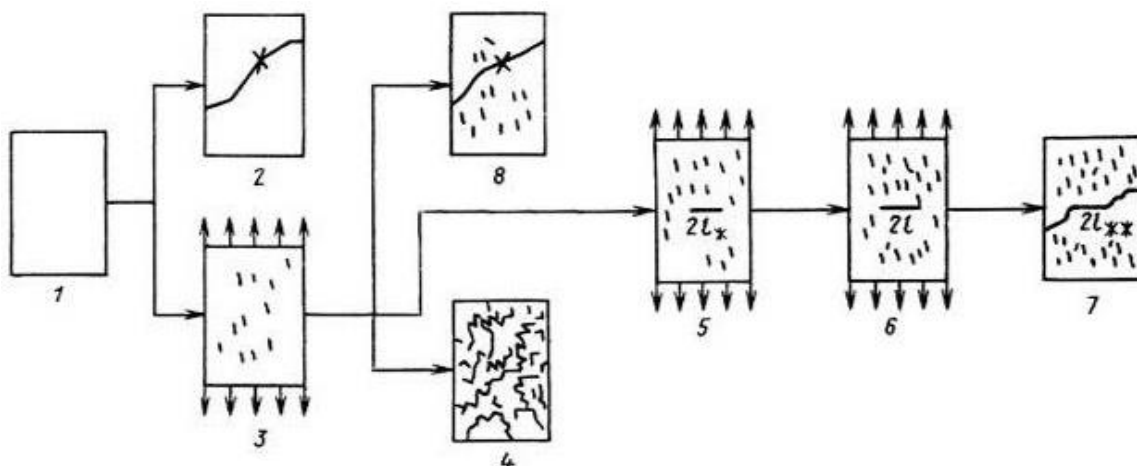


Рисунок 2.20 – Схеми етапів руйнування клейового композиційного матеріалу:

1 – початковий стан; 2 – крихке руйнування; 3 – накопичення мікропошкоджень; 4 – руйнування внаслідок втрати цілісності; 5 – утворення макроскопічної тріщини; 6 – зростання макроскопічної тріщини; 7 – фінальне руйнування в результаті зростання макроскопічної тріщини; 8 – крихке руйнування як результат накопичення мікропошкодження

У загальному вигляді існує три можливих типи дефектів – дефекти, властиві структурі матриці, частинки наповнювача і відстань між частинками. Якщо частинки наповнювача за розмірами перевершують структурні дефекти матриці, і, особливо, якщо частинки мають нерегулярну форму, то вони можуть стати найбільш небезпечними дефектами наповнених композицій.

З одного боку, частка наповнювача сприймає на себе зовнішні напруги, з іншого – вона є концентратором напружень у матеріалі. Розрахувати залежність міцності дисперсно-наповнених полімерів від змісту і природи наповню-

вача практично не вдається [11].

Таким чином, різні включення в матриці, що відрізняються від неї (частки наповнювача, пори, тріщини), є концентраторами напруги [136]. У разі прикладення навантаження на бездефектний клейовий матеріал поширення зусиль проходить по умовно безперервних силових лініях (рис. 2.21). Тому в матеріалі, що має включення, наприклад порожнечі, силові лінії не можуть бути безперервними, внаслідок чого накопичуються на краю дефекту і їх інтенсивність зростає [106].

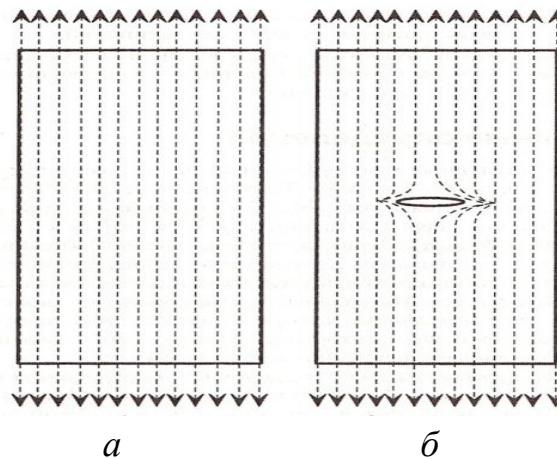


Рисунок 2.21 – Схематичне зображення силових ліній:
а – у монолітному зразку; б – зразку з еліптичною порожниною

Як показують експериментальні дані, дисперсний наповнювач в акрилової матриці знижує руйнівну напругу при розтягу, вигині, збільшує межу плинності при стисненні та зсуві й підвищує модуль пружності. Крім того, дисперсний наповнювач, що вводиться в термопластичне акрилове сполучне, знижує вартість клею, підвищує жорсткість, міцність при стисненні і покращує технологічність при переробці.

Руйнування зразків при стисканні, розтягненні, вигині й зсуві мали характер крихкого руйнування (рис. 2.21). Отже, міцність всієї системи визначає адгезія між наповнювачем і полімерною матрицею, а так самокогезійна міцність найбільш слабкого компонента клейової композиції [27]. При розтягу полімерна матриця деформується з руйнуванням адгезійних зв'язків із наповнювачем. Про руйнування зв'язку свідчить побіління клейового матеріалу. Це пов'язано з тим, що за певної напруги матриця відділяється від поверхні наповнювача з утворенням дрібних пор і пустот, які розсіюють світло внаслідок відмінності в коефіцієнтах заломлення.

За зсувних деформацій, якщо міцність зчеплення фаз перевершує коге-

зійну міцність полімерної матриці, спостерігається деякий стиск останньої, що і призводить до зниження пластичності та підвищення руйнівного напруження. Низька адгезійна міцність, навпаки, спричиняє легкий відрив матриці від частинок, і утворення порожнин починається за малих навантажень. Під дією нормально стискаючого навантаження руйнування клейового матеріалу відбувається під впливом розтягувальних напружень, що виникають у зразку при стисненні так само, як і в бетонних зразках. Це підтверджується (рис. 2.21, а) характером руйнування зразка акрилового клею при стисканні в звичайних умовах, коли тертя між плитами преса і поверхнею зразка досягає значної величини.

Площини зразка, прилеглі до плит преса, зберігають свою форму не руйнуючись, тоді як у міру віддалення від плит преса площа руйнування все більш поглиблюється в зразок. Це відповідає характеру розподілу напруг у стислому зразку. Сили тертя в цьому випадку виконують роль обойми, перешкоджаючи розтягуванню зразка, і чим ближче його перетин плит, тим більшою мірою проявляється дія цієї обойми.

У наповненій композиції або шлях тріщини викривлений (рис. 2.22, а), або тріщина проходить через частку з більшою енергією поверхні руйнування (рис. 2.22, б), в обох випадках зростає і міцність. Поширення тріщини може призупинитися або припинитися при зустрічі з шаром полімеру на поверхні частинки. Цьому можуть бути дві причини. По-перше, активний наповнювач має високу адсорбційну здатність, що спричиняє фіксацію на поверхні частинки частини сегментів молекулярного клубка, деформацію його й орієнтацію нефіксованих сегментів у напрямку від частки в об'єм полімеру. Виникає упорядкований частково орієнтований граничний шар, де релаксує перенапруга в вершині тріщини, і її зростання припиняється. Друга причина полягає в тому, що якщо взаємодія полімеру з поверхнею наповнювача мала, міжфазний шар ослаблений, і при зустрічі тріщини з таким шаром перенапруги в вершині тріщини швидко релаксує завдяки полегшеній деформації полімеру в міжфазному шарі або навіть шляхом відшарування полімеру (рис. 2.23) від поверхні частинки.

Руйнування клейового матеріалу відбувається по полімерній матриці або через контактну поверхню матриці та наповнювача. У зонах концентрації напружень утворюються мікротріщини і порожнини. Тому когезія акрилових клеїв залежить від адгезії на межі поділу фаз між наповнювачем і сполучною когезійної міцності найбільш слабкого компонента системи.

Крім того, наявність ослабленого міжфазного шару забезпечує не тільки релаксацію перенапруг у вершині тріщини, але і релаксацію внутрішніх (за-лишкових) напружень, зокрема термозбійних.

Отже, за встановленим комплексом фізико-механічних властивостей на-повнені системи значно перевершують гомополімери. Проте з огляду на гете-рогенності структури та наявності різноманітних за структурою компонентів наповнені матеріали можуть мати і велику дефектність, яка впливає на розкид і нестабільність фізичних, механічних та інших експлуатаційних властивостей.

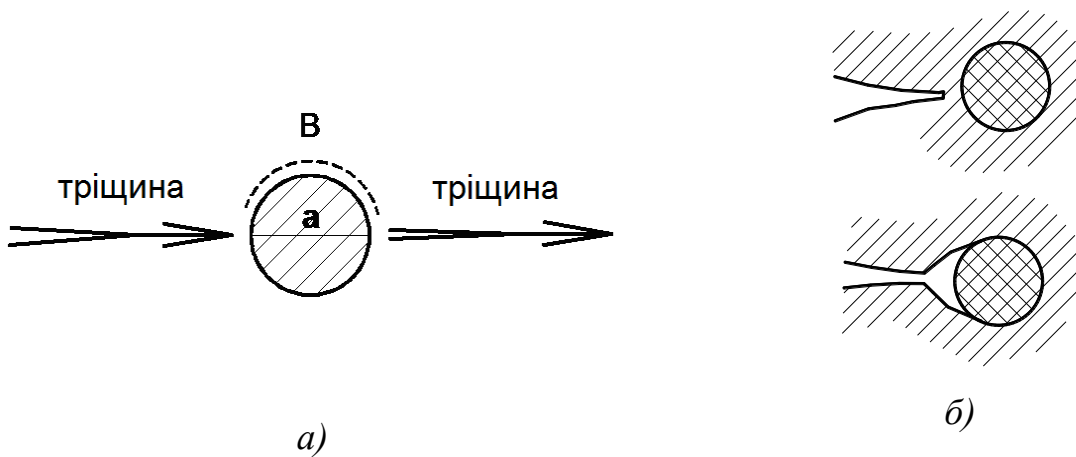


Рисунок 2.22 – Схема розподілу тріщини в середовищі з наповнювачем: а – велика міцність у міжфазному шарі (тріщина або огинає частку, або руйнує її); б – мала міцність зв’язку в МФС (тріщина припиняє зростання через відшаровування матриці від частки)

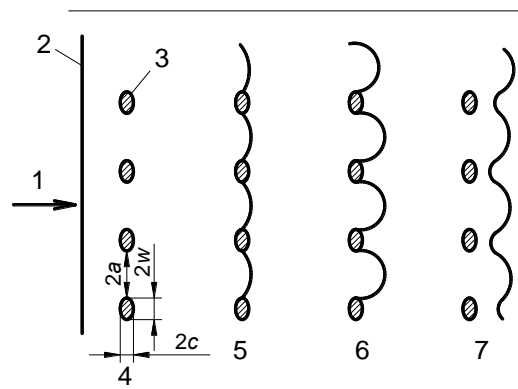


Рисунок 2.23 – Схема послідовних стадій взаємодії тріщини з рядом дисперсних частинок: 1 – напрямок руху тріщини; 2 – фронт тріщини; 3 – дисперсні частинки; 4 – наближення фронту тріщини до частинок; 5 – затримка фронту тріщини на частинках; 6 – прогин; 7 – з’єднання вигнутих ділянок і відрив фронту тріщини

Тому при розгляді й описі основних експлуатаційних характеристик отриманих матеріалів варто звертати увагу на його дефектність з позицій: дефектність полімерної матриці, дефектності наповнювача і, що особливо важливо, дефектності в граничних областях сполучна – частинки наповнювача, яка тісно пов'язана з технологічними факторами [128].

Питання для самоперевірки до розділу 2

1. Які застосовуються матеріали для закладення анкерних болтів у бетон готових чи існуючих фундаментів?
2. Які полімерні клеї застосовуються для закладення анкерних болтів, їхні фізико-механічні властивості?
3. Технологічні властивості клеїв, застосовуваних для кріплення анкерних болтів.
4. Час твердіння клеїв і цементно-піщаних сумішей і від чого він залежить?
5. Від чого залежать склад клеїв і сумішей, застосовуваних для закладення болтів?

3 РОЗРАХУНОК І ПРОЄКТУВАННЯ АНКЕРНИХ БОЛТІВ

3.1 Розрахунок анкерних болтів не співпадає назва

Анкерні болти (далі – болти) для кріплення будівельних конструкцій і устаткування до бетонних і залізобетонних елементів (фундаментів, силових полів, стін і т.п.) застосовують за розрахункової температури зовнішнього повітря до $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У випадку нагрівання бетону конструкцій понад $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, у які закладають болти, у розрахунках повинен враховуватися вплив температури на міцнісні характеристики матеріалу конструкцій, болтів, підлив, клейових складів і т.п.

Розрахункові технологічні температури встановлюються завданням на проєктування.

Болти, призначені для роботи в умовах агресивного середовища і підвищеної вологості, необхідно проєктувати з урахуванням додаткових вимог [51, 68].

У разі наявності відповідного обґрунтування допускається застосування інших способів закріплення устаткування на фундаментах (наприклад, на віброгасниках, клеї та ін.).

За умовами експлуатації болти підрозділяються на розрахункові й конструктивні. До розрахункових відносяться болти, що сприймають навантаження, які виникають під час експлуатації будівельних конструкцій чи роботи устаткування. До конструктивних відносяться болти, що передбачаються для кріплення будівельних конструкцій і устаткування, стійкість яких проти перекидання чи зрушення забезпечується власною вагою конструкції або устаткування. Конструктивні болти призначаються для рихтування будівельних конструкцій і устаткування під час їхнього монтажу і для забезпечення їхньої стабільної роботи під час експлуатації, а також для запобігання їхніх випадкових зсувів.

Болти з відгином і анкерною плитою рекомендується застосовувати для кріплення конструкцій і устаткування без обмежень, а болти, встановлювані в свердловини, використовувати для кріплення будівельних конструкцій і устаткування, що не зазнають значних динамічних навантажень.

Для кріплення несучих колон будинків і споруд, обладнаних мостовими кранами, а також для висотних будинків і споруд, вітрове навантаження для яких є основним, не допускається застосовувати болти, встановлювані в свер-

дловины, за винятком болтів із конічним кінцем, установлюваних способом віброзаглиблення з глибиною закладення не менше $20d_s$.

Разом із тим випробування анкерних болтів на модифікованих акрилових клеях щодо визначення міцності їхнього закладання в бетон при короткочасних, тривалих і динамічних впливах [43–51,63–68] показали, що такі клейові анкери можуть використовуватися для кріплення будівельних конструкцій і устаткування у разі дії на них різних видів навантажень.

Розрахункові опори металу болтів розтягання R_s приймають за ДБН В.2.6 – 198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування».

Навантаження, що діють на болти, за характером впливу підрозділяються на статичні й динамічні. Величина, напрямок і характер навантажень від устаткування на болти повинні вказуватися у завданні на проектування фундаментів під устаткування.

Після установки будівельних конструкцій, устаткування і болтів у проектне положення вони повинні бути затягнуті на величину попереднього затягування F , яка для статичних навантажень має дорівнювати $0,75P$, для динамічних навантажень $1,1P$ – розрахункове навантаження, що діє на болт.

Згідно з [69] площа поперечного перерізу болта (за різьбленням) визначається з умови міцності за формулою:

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s}, \quad (3.1)$$

де $k_0 = 1,35$ – для динамічних навантажень; $k_0 = 1,05$ – для статичних навантажень.

Для знімних болтів з анкерними плитами, установлюваних вільно в трубі, коефіцієнт k_0 для динамічних навантажень має дорівнювати 1,15.

У разі дії динамічних навантажень переріз болтів, визначений за формулою (3.1), потрібно перевірити на витривалість за формулою:

$$A_s = \frac{1,8 \chi \mu P}{\alpha R_s}, \quad (3.2)$$

де χ – коефіцієнт навантаження, прийнятий за таблицею 3.1 залежно від конструкції болта; μ – коефіцієнт, прийнятий за таблицею 3.2 залежно від діаметра болта; α – коефіцієнт, що враховує число циклів навантаження і прийнятий за таблицею 3.3.






Розраховуючи кріплення будівельних конструкцій, зусилля попереднього затягування і площу перерізу болтів визначають як для статичних навантажень, якщо в проєкті немає спеціальних вказівок.

При груповій установці болтів для кріплення устаткування значення розрахункового навантаження P , що припадає на один болт, потрібно визначати для найбільш навантаженого болта за формулою:

$$P = \frac{N}{n} + \frac{My_1}{\sum y_i^2}, \quad (3.3)$$

де N – розрахункова поздовжня сила; M – розрахунковий згинальний момент; n – загальна кількість болтів; y_1 – відстань від осі повороту до найбільш вилученого болта в розтягнутій зоні стику; y_i – відстань від осі повороту до i -го болта, враховуються як розтягнуті, так і стиснуті болти.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів навантаження χ і стабільності затягування залежно від конструкції анкерних болтів

Конструкція болта	З відгином	З анкерною плитою		Прямий	Конічний (розпирний)
		глухий	знімний		
1	2	3	4	5	6
Діаметр болта (за різьбленням), d , мм	12–48	12–140	56–125	12–48	6–8
Ескіз					
Мінімальна глибина закладення $l_{анк}$	$25d$	$15d$	$30d$	$10d$ $(8d)^1$	$10d$ $(8d)^1$
Найменша відстань між болтами	$6d$	$8d$	$10d$	$5d$	$8d$
Найменша відстань від осі болта до грані фундаменту	$4d$	$6d$	$6d$	$5d$	$8d$
Коефіцієнт навантаження χ	0,4	0,4	0,25	0,6 $0,365^2$	0,55

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Коефіцієнт стабільності зтяжки k	1,9 (1,3) ³	1,9 (1,3)	1,5	2,5(2) 1,95(1,49) ⁴ 1,82(1,43) ⁵	2,3(1,8)
Примітки:					
1. У дужках подана глибина закладення для болтів, встановлюваних на модифікованих акрилових клеях, а для конічних (розпірних) – діаметром до 16 мм.					
2. У дужках наведені значення коефіцієнта k для статичних навантажень.					
3. Значення χ для анкерів, забитих за допомогою модифікованих акрилових клеїв.					
4. Значення коефіцієнта k для болтів, закладуваних на модифікованих акрилових клеях на глибину $8d_s$.					
5. Значення коефіцієнта k для болтів, закладуваних на модифікованих акрилових клеях на глибину $10d_s$.					

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнта μ , що враховує масштабний фактор болта

Коефіцієнт μ	Діаметр болта, мм
0,9	10-12
1	16
1,1	20–24
1,3	30–36
1,6	42–48
1,8	56–72
2	80–90
2,2	100–125
2,5	140

Вісь повороту допускається приймати такою, що проходить через центр ваги опорної поверхні устаткування чи башмака колон.

Для наскрізних сталевих колон, що мають роздільні башмаки, величину розрахункового розтягуючого навантаження, що припадає на один болт, необхідно визначати за формулою:

$$P = (M - Nb)/nh, \quad (3.4)$$

де N і M – поздовжня сила і згинальний момент у наскрізній колоні на рівні верху фундаменту; h – відстань між осями віток колони; n – кількість болтів кріплення вітки колони; b – відстань від центра ваги перерізу колони до осі стиснутої вітки.

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнта α , що враховує число циклів навантаження болта

Коефіцієнт α	Число циклів навантаження
3,15	$0,05 \times 10^6$
2,25	$0,2 \times 10^6$
1,57	$0,8 \times 10^6$
1,25	2×10^6
1	5×10^6 і більше

Для башмаків сталевих суцільних колон значення розрахункового навантаження, що припадає на один розтягнутий болт, варто визначати за формулою:

$$P = (f_{cd} b_s x - N) / n, \quad (3.5)$$

де N – поздовжня сила в колоні; f_{cd} – розрахунковий опір бетону фундаменту осьовому стиску, приймається залежно від класу бетону за таблицею 3.4; n – кількість розтягнутих болтів, розташованих з одного боку бази колони; b_s – ширина опорної плити бази колони; x – висота стиснутої зони бетону під опорною плитою бази колони визначається за формулою:

$$x = l_a - \sqrt{\frac{l_s^2 - 2N(e_0 + c)}{f_{cd} b_s}}, \quad (3.6)$$

де l_a – відстань від рівнодіючих зусиль у розтягнутих болтах до протилежної грані плити; c – відстань від осі колони до осі болта; e_0 – ексцентриситет додатку навантаження; l_s – довжина опорної плити бази колони.

Висота стиснутої зони x_R визначається умовою

$$x_R = \xi_R \cdot l_a, \quad (3.7)$$

де

$$\xi_R = \frac{\varepsilon_{cu,3}}{\varepsilon_{cu,3} + \varepsilon_{so}} \quad (3.8)$$

Таблиця 3.4 – Розрахунковий опір бетону осьовому стиску

Клас бетону	f_{cd} , МПа
C 8/10	5,8
C12/15	8,5
C16/20	11,5
C20/25	14,5
C25/30	17

У тих випадках, коли $\chi > \zeta_R l_a$, варто підвищити клас бетону фундаменту або збільшити опорну плиту, чи передбачити непряме армування.

Величину зусилля попереднього затягування болтів F_1 для сприйняття горизонтальних (зсувних) зусиль у площині сполучення устаткування з фундаментом для зсувостійких з'єднань (що не допускають зсуву опорної конструкції на величину зазору між стержнем болта і стінками отвору в стакані) потрібно визначати за формулою:

$$F_1 = k \frac{Q - Nf}{nf}, \quad (3.9)$$

де k – коефіцієнт стабільності затягування, прийнятий за таблицею 3.1; Q – розрахункова зсувна сила, що діє в опорній площині; N – нормальна сила; f – коефіцієнт тертя, що дорівнює 0,25; n – число болтів.

При спільній дії вертикальних і горизонтальних (зсувних) сил значення зусилля затягування F_0 знаходиться за формулою:

$$F_0 = F + F_1 / k. \quad (3.10)$$

Площа поперечного перерізу болту за різьбленням в цьому випадку визначається за формулою:

$$A_s = \frac{kk_0 P + F_1}{kR_s}. \quad (3.11)$$

У зсуводопускних з'єднаннях зсувна сила, Q сприймається завдяки опорі стержня болта зрізу і визначається за формулою:

$$Q \leq 0,6A_s R_s n. \quad (3.12)$$

При спільній дії осьових P і зсувних Q зусиль їхні припустимі величини можуть бути визначені за формулами:

$$P \leq 0,6A_s R_s n, \quad (3.13)$$

$$Q \leq 0,4A_s R_s n. \quad (3.14)$$

Величина зусилля попереднього затягування болтів F_2 у цьому випадку повинна визначатися за формулою:

$$F_2 = \frac{kA_s R_s}{2}. \quad (3.15)$$

Зсувну силу, Q , що діє в площині згинального моменту, для наскрізних сталевих колон, які мають роздільні башмаки під вітки колони, допускається сприймати силою тертя під стиснутою віткою колони, що задовольняє умову

$$Q \leq \frac{f[M + V(h - b)]}{h}. \quad (3.16)$$

Зсувну силу для сталевих суцільних колон, а також для наскрізних колон при дії зсувної сили, перпендикулярно до площини згинального моменту (зв'язеві колони) допускається сприймати силою тертя від дії поздовжньої сили і сили затягування болтів і визначати за формулою:

$$Q \leq f \cdot \left(\frac{nA_s R_s}{4} + N \right). \quad (3.17)$$

Болти необхідно затягувати зазвичай з контролем величини крутного моменту $M_{кр}$, Н·м, значення якого знаходять за формулою:

$$M_{кр} = F \zeta, \quad (3.18)$$

де ζ – коефіцієнт, що враховує геометричні розміри різьблення, тертя на торці гайки й у різьбленні, приймають за таблицею 3.5.

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнта, що враховує геометричні розміри різьблення і тертя на торці гайки

Діаметр болта, мм	ζ , м	Діаметр болта, мм	ζ , м
10	2×10^{-3}	56	$1,4 \times 10^{-2}$
12	$2,4 \times 10^{-3}$	64	$1,7 \times 10^{-2}$
16	$3,2 \times 10^{-3}$	72	$1,9 \times 10^{-2}$
20	$4,4 \times 10^{-3}$	80	$2,1 \times 10^{-2}$
24	$5,8 \times 10^{-3}$	90	$2,3 \times 10^{-2}$
30	$7,5 \times 10^{-3}$	100	$2,5 \times 10^{-2}$
36	9×10^{-3}	110	$2,8 \times 10^{-2}$
42	$1,1 \times 10^{-2}$	125	$3,2 \times 10^{-2}$
48	$1,2 \times 10^{-2}$	140	$3,5 \times 10^{-2}$

Мінімальну глибину закладання болтів із сталі марки ВСтЗкп2 необхідно приймати за таблицею 3.1. За інших марок сталі болтів чи іншому класі бетону за міцністю на стиск мінімальну глибину закладення $l_{анк_0}$ потрібно визначати за формулою:

$$l_{анк_0} \geq l_{анк} m_1 m_2, \quad (3.19)$$

де m_1 – відношення розрахункового опору розтягання бетону класу В12,5 до розрахункового опору бетону прийнятого класу; m_2 – відношення розрахункового опору розтягання металу болтів прийнятої марки сталі до розрахункового опору сталі марки ВСтЗкп2.

Для болтів діаметром 24 мм і більше, встановлюваних у свердловини готових фундаментів, коефіцієнт m_1 варто приймати таким, що дорівнює 1,0.

Значення розрахункових опорів бетону розтягання f_{ctd} залежно від класу бетону наведені в таблиці 3.6.

Для зазначених класів бетону мінімальну глибину закладення дюбеля-втулки розпірної варто приймати $l_{анк} = 6d_s$, з урахуванням величин таких розрахункових параметрів: коефіцієнта навантаження $\chi = 0,4$; коефіцієнта стабільності затягування $k = 1,3$ (за динамічних впливів $k = 1,9$); відстані між осями дюбелів не менше $5d$, від краю фундаменту до осі дюбеля – $6d$.

Глибину закладення розпірних дюбелів, встановлюваних у менш жорсткі матеріали (цегла, керамзитобетон), потрібно збільшувати на $2d_s$ порівняно з глибиною закладення аналогічних дюбелів, встановлюваних у конструкції з бетону класу С12/15.

При конструктивному кріпленні устаткування для болтів із відгинами глибину закладання в бетон приймають такою, що дорівнює $15d_s$, для болтів з анкерними плитами $10d_s$, а для болтів, встановлюваних у свердловини – $5d_s$.

Таблиця 3.6 – Розрахунковий опір бетону розтягання

Клас бетону	f_{ctd} МПа
С8/10	0,61
С12/15	0,73
С16/20	0,87
С20/25	1,0
С25/30	1,2

Найменші припустимі відстані між осями болтів і від осі крайніх болтів до грані фундаменту наведені в таблиці 3.1.

Відстані між болтами, а також від осі болтів до грані фундаменту допускається зменшувати на $2d_s$ за відповідного збільшення глибини закладення болта на $5d_s$.

Відстань від осі болта до грані фундаменту допускається зменшувати ще на один діаметр за наявності спеціального армування вертикальної грані фундаменту в місці установки болта.

У всіх випадках відстань від осі болта до грані фундаменту не повинна бути менше 100 мм для болтів діаметром 30 мм включно, 150 мм – для болтів діаметром до 48 мм і 200 мм – для болтів діаметром більше 48 мм.

Під час устанавлення спарених болтів, наприклад для закріплення несучих сталевих колон будинків і споруд, повинна передбачатися загальна анкерна плита з відстанню між отворами, що дорівнює проєктній відстані між осями болтів, або необхідно встановлювати одиночні болти з «розбігом» за глибиною. Глибину закладання спарених болтів за відстані між їхніми осями $8d_s$ і більше варто призначати $5d_s$, за відстані менше $8d_s$ – такою, що дорівнює $20d_s$.

Відстань від краю плити до осі болта варто обирати не менше $2d_s$, а площа анкерної плити має бути не менше $32d_s$.

Розрахункові площі поперечних перерізів болтів (за різьбленням) залежно від їхнього діаметра наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахункові площі поперечних перерізів болтів (за різьбленням) залежно від їхнього діаметра

Діаметр різьблення болтів	Розрахункова площа поперечного перерізу болтів за різьбленням A_s , см ²	Діаметр різьблення болтів	Розрахункова площа поперечного перерізу болтів за різьбленням A_s , см ²
M10	0,571	M56	20,29
M12	0,842	M64	26,75
M16	1,57	M72×6	34,58
M20	2,45	M80×6	43,44
M24	3,52	M90×6	55,91
M30	5,60	M100×6	69,95
M36	8,26	M110×6	85,56
M42	11,2	M125×6	111,91
M48	19,72	M140×6	141,81

Діаметри конструктивних болтів вказані в завданні на проектування фундаментів. За відсутності таких вказівок діаметри конструктивних болтів призначаються відповідно до діаметра отворів у опорних частинах устаткування.

3.2 Методи інженерного розрахунку клейових сталобетонних з'єднань

На підставі результатів експериментальних досліджень [90-96], був розроблений метод інженерного розрахунку безанкерних клейових сталобетонних з'єднань на акрилових модифікованих композиціях. Цей метод ґрунтується на призначенні умовної жорсткості сталевих опорних пластин, площі приклеювання та перевірці міцності клейового кріплення. У цьому випадку неодмінно враховуються види руйнуючих навантажень, які діють на клейове кріплення, а саме: центрально-докладені та позацентрово-докладені зусилля відриву, зусилля зсуву, сумісна дія зусиль зсуву та відриву, сумісна дія згинального моменту та зусиль зсуву, сумісна дія крутного моменту та зусиль зсуву.

Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на дію центрально-докладених зусиль відриву (див. рис. 1.26, а) здійснюється за формулою:

$$P_{відр} \leq R_{відр}^{кл} \cdot F_{кл} \quad (3.20)$$

де $P_{відр}$ – розрахункове зусилля центрально-докладеного відриву, яке прикладається до центра вузла кріплення або загальної площі приклеювання; $F_{кл}$ – площа приклейки вузла кріплення; $R_{відр}^{кл}$ – опір безанкерного клейового кріплення при центрально-докладеному зусиллі відриву, що визначається за розрахунком:

$$R_{відр}^{кл} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot f_{ctd}, \quad (3.21)$$

де f_{ctd} – розрахункове значення міцності бетону на розтяг згідно з ДБН В.2.6-98:2009, МПа; k_1 – коефіцієнт впливу умовної жорсткості опорної пластини вузла кріплення (відношення товщини сталеві пластини до розміру її більшої сторони) на міцність клейового кріплення (табл. 3.8);

Таблиця 3.8 – Умовна жорсткість пластин

Умовна жорсткість пластин, Δ	0,06	0,10	0,125	0,188	0,225	0,25	0,30
k_1	0,40	0,61	0,72	0,86	0,93	0,96	0,99

k_2 – коефіцієнт впливу масштабного параметру площі приклеювання (табл. 3.9):

Таблиця 3.9 – Площа приклейки пластин

Площа приклейки, см ²	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
k_2	1,0	0,85	0,73	0,65	0,60	0,53	0,50	0,47	0,44	0,43

k_3 – коефіцієнт відстані кріплення сталевго елемента з'єднання від обрізу будівельної конструкції, який характеризується показником відношення F_{δ} / F_{np} (F_{δ} – загальна площа бетонного виробу, до якого приклеюється сталевий елемент з'єднання; F_{np} – площа зони склеювання), визначається за формулою:

$$k_3 = \sqrt[3]{\frac{F_{\delta}}{F_{np}}} \leq 2,5 \quad (3.22)$$

k_4 – коефіцієнт впливу сторони бетонування конструкції на міцність клейового сталобетонного з'єднання ($k_4 = 1,0$ – у випадку приклеювання на бетонну поверхню конструкції, яка становить верх бетонування, $k_4 = 1,3$ – у випадку приклеювання на бетонну поверхню, яка становить низ бетонування);

k_5 – коефіцієнт терміну використання клейового з'єднання (у цьому випадку k_5 в розрахунку приймається залежно від використовуваного клею, згідно з даними [128]).

Таблиця 3.10 – Термін служби

Термін служби, роки*	0,5	1	2	5	10	20	30	40	50
k_5	1,16	1,14	1,13	1,08	1,05	1,03	1,017	1,008	1,0

*Дані по тривалій міцності взяті згідно з «Пособие по расчетным характеристикам клеевых соединений для строительных конструкций».

Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на дію позacentрово-докладених зусиль відриву (див. рис. 1.26, б) здійснюється за формулою:

$$P_{н.відр} \leq P_{відр} \cdot k_6, \quad (3.23)$$

де $P_{н.відр}$ – розрахункове зусилля, яке прикладається позacentрово (із ексцентриситетом) до вузла кріплення; $P_{відр}$ – розрахункове зусилля, яке визначається за формулою (3.20); k_6 – коефіцієнт впливу позacentрового докладання сили на міцність клейового сталобетонного з'єднання (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 – Величина ексцентриситету

Величина ексцентриситету	0	0,1a	0,2a	0,3a	0,4a	0,5a
k_6	1,00	0,81	0,63	0,49	0,38	0,32

Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на зсув (див. рис. 1.26, в) здійснюється за формулою:

$$P_{зсв} \leq R_{зсв}^{кл} \cdot F_{кл} \quad (3.24)$$

де $P_{зсв}$ – розрахункове зусилля зсуву, яке докладається до центральної осі вузла кріплення; $R_{зсв}^{кл}$ – розрахунковий опір клейового сталобетонного з'єднання зсуву.

Розрахунковий опір безанкерного клейового сталобетонного з'єднання зсуву визначається за формулою:

$$R_{зсв}^{кл} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot 2f_{ctd}, \quad (3.25)$$

де значення коефіцієнтів k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 визначаються згідно з таблицями 3.8, 3.9 та 3.10 відповідно.

Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на сумісну дію зусиль відриву та зсуву (рис. 1.26, г) здійснюється за формулою:

$$\left\{ \begin{array}{l} P \cdot \cos \alpha \leq P_{відр} \\ P \cdot \sin \alpha \leq P_{зсв} \end{array} \right\}, \quad (3.26)$$

де P – розрахункове зусилля, яке докладається під кутом α° до центральної осі вузла кріплення; $P_{відр}$ – розрахункове зусилля центрально-докладеного відриву (24); $P_{зсв}$ – розрахункове зусилля зсуву (28).

Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на сумісну дію згинального моменту та зусиль зсуву (див. рис. 1.26, д) здійснюється за формулою:

$$P'_{зсв} \leq k_7 \cdot P_{зсв}, \quad (3.27)$$

де $P'_{зсв}$ – розрахункове зусилля зсуву, яке докладається із ексцентриситетом до вузла кріплення; $P_{зсв}$ – розрахункове зусилля зсуву, яке визначається за формулою (3.24); k_7 – коефіцієнт впливу позацентрального докладання зусиль зсуву на міцність клейового сталобетонного з'єднання (табл. 3.12).

Таблиця 3.12 – Величина плеча докладання зусиль зсуву

Величина плеча докладання зусиль зсуву	0	0,2a	0,4a	0,6a	0,8a	1,0a
k_7	1,00	0,53	0,27	0,17	0,12	0,10

Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на сумісну дію крутного моменту та зусиль зсуву (див.рис. 1.26, е) здійснюється за формулою:

$$P''_{зсв} \leq k_8 \cdot P_{зсв}, \quad (3.28)$$

де $P''_{зсв}$ – розрахункове зусилля кручення, яке докладається до вузла кріплення; $P_{зсв}$ – розрахункове зусилля зсуву, яке визначається за формулою (3.24); коефіцієнт величини плеча докладання крутного зусилля до вузла кріплення (табл. 3.13).

Таблиця 3.13 – Розмір плеча

Розмір плеча, l	0	0,3a	0,6a	0,9a	1,2a	1,5a	1,8a	2,1a	2,4a	2,7a	3,0a
k_8	1,0	0,87	0,76	0,66	0,57	0,48	0,40	0,32	0,25	0,19	0,14

При розрахунку безанкерного клейового сталобетонного з'єднання на витривалість, при дії центрально-докладених зусиль відриву, розрахунковий опір R_z визначається за формулою:

$$R_z = R_{відр}^{кл} \cdot \varepsilon_b, \quad (3.29)$$

де $R_{відр}^{кл}$ – опір безанкерного клейового кріплення при центрально-докладеному зусиллі відриву, який визначається за формулою (3.20); ε_b – коефіцієнт, який залежить від асиметрії циклу повторюваних напружень у бетоні ρ_b та приймається згідно із таблицею 3.9 ДБН В.2.3-14:2006 «Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування» [127].

3.3 Приклади розрахунку анкерних болтів різних конструкцій та клейових сталобетонних з'єднань

Нижче наводяться приклади розрахунків анкерних болтів різних конструкцій. Враховувалась практика розрахунків різних авторів і наукових установ [27, 28, 36, 37, 41, 42, 57].

Приклад 1. Визначити діаметр вигнутого болта для кріплення устаткування і глибину його закладання в бетон за таких вихідних даних. Розрахункове динамічне навантаження на болт $P = 50$ кН, сталь Ст 20 ($R_s = 1,85 \times 10^5$ кПа); клас бетону фундаменту С12/15.

1. За таблицею 3.1 для цього болта: коефіцієнт навантаження $\chi = 0,4$; коефіцієнт стабільності затягування $k = 1,9$; глибина закладання болта в бетон $l_{анк} = 25d_s$ (для бетону класу В12,5).

2. Площу поперечного перерізу болта (за різьбленням) знаходимо за формулою (3.1):

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s} = \frac{1,35 \times 50}{1,85 \times 10^5} = 0,00037 \text{ м}^2 = 3,7 \text{ см}^2,$$

де $k_0 = 1,35$.

За таблицю 3.7 приймаємо болт із діаметром різьблення М30 ($A_s = 5,60 \text{ см}^2$).

3. Перевіряємо прийняту площу перерізу болта на витривалість за формулою (3.2)

$$A_s = \frac{1,8 \chi \mu P}{\alpha R_s} = \frac{1,8 \times 0,4 \times 1,3 \times 50}{1 \times 1,85 \times 10^5} = 0,000253 \text{ м}^2 = 2,53 \text{ см}^2,$$

де $\mu = 1,3$ (за табл. 3.2); $\alpha = 1$ (за табл. 3.3).

Прийнята площа перерізу болта задовольняє вимогам міцності й витривалості.

4. Зусилля попереднього затягування болтів згідно з п. 8 додатка 2 [69]

$$F = 1,1P = 1,1 \times 50 = 55 \text{ кН.}$$

5. Глибину закладання болтів у бетон $l_{анк0}$ визначаємо за формулою (3.19)

$$l_{анк0} \geq l_{анк} m_1 m_2 = 25 \times 0,03 \times 0,875 \times 1 = 0,66 \text{ м,}$$

де $m_1 = 0,7 / 0,8 = 0,875$; $m_2 = 1,85 \times 10^5 / 1,85 \times 10^5 = 1$.

Приклад 2. Визначити діаметр болта (див. рис. 1.13, б) для кріплення устаткування. Розрахункове динамічне навантаження на болт $P = 50 \text{ кН}$, сталь ВСт 3 кп 2, клас бетону фундаменту В15, глибина закладання за допомогою модифікованого акрилового клею $l_{анк} = 8d_s$. Число циклів навантаження складає 6×10^6 .

1. Площу поперечного перерізу болта (за різьбленням) знаходимо за формулою (3.1)

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s} = \frac{1,35 \times 50}{1,85 \times 10^5} = 0,000406 \text{ м}^2 = 4,06 \text{ см}^2,$$

де $k_0 = 1,35$. Приймаємо болт із діаметром різьблення М30. У цьому випадку $A_s = 5,6 \text{ см}^2$.

2. Перевіряємо прийнятий болт на витривалість. Здійснюємо це за формулою (3.2)

$$A_s = \frac{1,8 \chi \mu}{\alpha} \cdot \frac{P}{R_s}.$$

Згідно з таблицею 3.1 $\chi = 0,365$. Коефіцієнти μ і α згідно з таблицями 3.2 і 3.3 відповідно дорівнюють $\mu = 1,3$ і $\alpha = 1$, де μ – коефіцієнт, що залежить від діаметра болта, α – коефіцієнт, що враховує число циклів навантаження.

Тоді

$$A_s = \frac{1,8 \times 0,365 \times 1,3}{1} \times \frac{50}{1,85 \times 10^5} = 0,000231 \text{ м}^2 = 2,31 \text{ см}^2.$$

Прийнята площа перерізу болта задовольняє вимогам міцності й витривалості.

3. Зусилля попереднього затягування згідно з п. 8 додатка 2 [69]

$$F = 1,1P = 1,1 \times 50 = 55 \text{ кН.}$$

4. Глибина закладення анкера $l_{\text{анк}} = 8d_s = 8 \times 3,0 = 24 \text{ см.}$

Приклад 3. Визначити діаметр болта з анкерною плитою у зсувостійкому з'єднанні для кріплення устаткування, експлуатованого за температури зовнішнього повітря $-45 \text{ }^\circ\text{C}$, і глибину його закладання в бетон за таких вихідних даних. Розрахункове статичне навантаження на болт $P = 130 \text{ кН}$, кількість болтів $n = 4$, зсувна сила $Q = 60 \text{ кН}$, вага устаткування $N = 10 \text{ кН}$. Клас бетону фундаменту В12,5.

1. За умовами експлуатації марку сталі для болтів приймаємо 09М2С-6 (див. табл. 1.1), $R_s = 1,8 \times 10^5 \text{ кПа}$.

2. Площу поперечного перерізу болта (за різьбленням) знаходимо за формулою (3.11)

$$A_s = \frac{k \cdot k_0 P + F_1}{n \cdot k \cdot R_s} = \frac{1,3 \times 1,05 \times 130 + 74,75}{1,3 \times 1,8 \times 10^5} = 0,00108 \text{ м}^2 = 10,8 \text{ см}^2,$$

де $k = 3$ (за табл. 3.1), $k_0 = 1,05$.

F_1 визначаємо за формулою (3.9)

$$F_1 = k \frac{Q - Nf}{n \cdot f} = 1,3 \cdot \frac{60 - 10 \times 0,25}{4 \times 0,25} = 74,75 \text{ кН.}$$

За таблицею 3.7 приймаємо болт із діаметром різьблення М42 ($A_s = 11,2 \text{ см}^2$).

3. Необхідне зусилля попереднього затягування болтів визначаємо за формулою (3.10)

$$F_0 = F + F_1 / k = 0,75 \times 130 + \frac{74,75}{1,3} = 155 \text{ кН.}$$

4. Глибину закладання болтів у бетон $l_{\text{анк}_0}$ встановлюємо за формулою (3.19)

$$l_{анк_0} \geq l_{анк} m_1 m_2 = 15 \times 0,042 \times 1 \times 0,97 = 0,65 \text{ м},$$

де $m_1 = 0,7/0,7 = 1$; $m_2 = 1,8 \times 10^5 / 1,85 \times 10^5 = 0,097$.

Приклад 4. Визначити діаметр болта (див. рис. 1.13, б) для кріплення устаткування за таких вихідних умов. Розрахункове статичне навантаження на болт $P = 130$ кН, кількість болтів $n = 12$, зсувна сила $Q = 60$ кН, вага устаткування $N = 40$ кН. Клас бетону фундаменту В12,5, глибина закладання болтів за допомогою модифікованих акрилових клеїв $l_{анк} = 8d_s$.

1. Площу поперечного перерізу болта знаходимо за формулою (3.11)

$$A_s = \frac{k \cdot k_0 P + F_1}{n \cdot k \cdot R_s},$$

де $k = 1,49$ – коефіцієнт стабільності затягування (табл. 3.1); $k_0 = 1,05$; F_1 – зусилля попереднього затягування болтів при сприйнятті ними горизонтальних зсувних зусиль. Це зусилля визначаємо за формулою (3.9)

$$F_1 = k \frac{Q - Nf}{n \cdot f} = 1,49 \cdot \frac{60 - 40 \times 0,25}{12 \times 0,25} = 24,85 \text{ кН},$$

де $f = 0,25$ – коефіцієнт тертя металу по бетону.

2. Площа анкерного болта за різьбленням дорівнює:

$$A_s = \frac{1,49 \times 1,05 \times 130 + 24,85}{1,49 \times 1,85 \times 10^5} = 0,00083 \text{ м}^2 = 8,3 \text{ см}^2.$$

Приймаємо болт із діаметром різьблення М36 ($A_s = 8,36 \text{ см}^2$).

3. Необхідне зусилля попереднього затягування F_0 у цьому випадку відповідно до формули (3.10) становить

$$F_0 = F + F_1 / k = 0,75 \times 130 + \frac{24,85}{1,49} = 114,2 \text{ кН},$$

де $F = 0,75P$.

4. Глибина закладення анкера $l_{анк} = 8d_s = 28,8 \text{ см}$.

Приклад 5. Визначити діаметр болта (див. рис. 1.13, б) для кріплення технологічного устаткування за таких вихідних даних. Розрахункова схема кріплення устаткування подана на рисунку 3.1, розрахунковий динамічний перекидний момент від устаткування $M = 1200$ кН·м, власна вага устаткування $N = 100$ кН. Кількість болтів $n = 8$; відстані від осі повороту устаткування до болтів $y_1 = 0$; $y_2 = 1,45$ і $y_3 = 2$ м. Клас бетону фундаменту В15, глибина закладення болта модифікованим акриловим клеєм $l_{анк} = 8d_s$, число циклів динамічного навантаження $1,6 \times 10^6$.

1. При груповій установці анкерних болтів для кріплення устаткування розрахункове навантаження, що припадає на один болт, визначаємо за формулою (3.3)

$$P = -\frac{N}{n} + \frac{M_y}{\sum y_i^2}.$$

де $\sum y_i^2 = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 = 1,45^2 \times 4 + 2^2 \times 2 = 16,41 \text{ м}^2$.

Тоді
$$P = -\frac{100}{8} + \frac{1200 \times 2}{16,41} = 133,75 \text{ кН}.$$

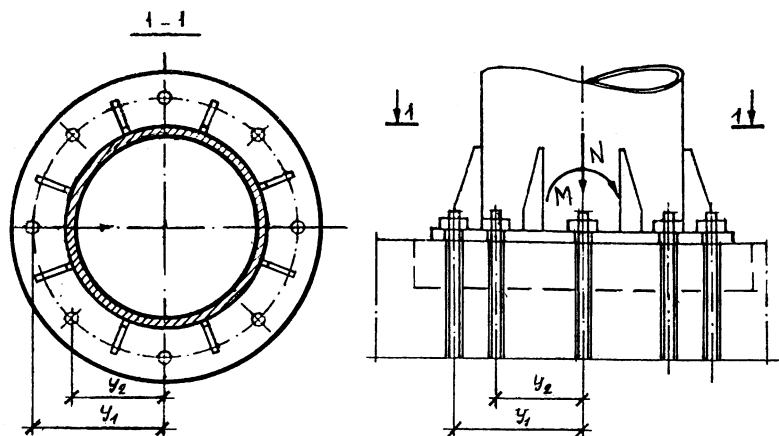


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема визначення зусиль при груповій установці болтів для кріплення технологічного устаткування

2. Площа перерізу болта за різьбленням дорівнює:

$$A_s = \frac{k_0 \cdot P}{R_s} = \frac{1,05 \times 133,75}{1,85 \times 10^5} = 0,00076 \text{ м}^2 = 7,6 \text{ см}^2.$$

Приймаємо болти з діаметром різьблення М36 ($A_s = 8,36 \text{ см}^2$).

3. Перевіряємо прийнятий болт на витривалість. Здійснюємо це за формулою (3.2)

$$A_s = \frac{1,8 \chi \mu}{\alpha} \cdot \frac{P}{R_s}.$$

Згідно з таблицею 3.1 $\chi = 0,339$. Коефіцієнти μ і α згідно з таблицями 3.2 і 3.3 відповідно рівні $\mu = 1,3$ і $\alpha = 1,36$

$$A_s = \frac{1,8 \times 0,339 \times 1,3}{1,36} \times \frac{133,75}{1,85 \times 10^5} = 0,00042 \text{ м}^2 = 4,2 \text{ см}^2.$$

Прийнята площа перерізу болта задовольняє вимогам міцності й витривалості.

4. Зусилля попереднього затягування згідно з п. 8 додатка 2 [69]

$$F = 1,1P = 1,1 \times 133,75 = 147,1 \text{ кН}.$$

5. Глибина закладення анкера $l_{анк} = 8d_s = 28,8$ см.

Приклад 6. Визначити діаметр болта (див. рис. 1.13, б) для кріплення сталевий колони суцільного перерізу (рис. 3.2) за таких вихідних даних: $M = 900$ кН·м; $N = 1\,200$ кН; $Q = 100$ кН; $C = 0,4$ м; $l_s = 0,9$ м; $b_s = 0,5$ м; $R_b = 8,7$ МПа, де c – відстань від осі колони до осі анкерного болта; l_s і b_s – довжина і ширина опорної плити бази колони.

1. Визначаємо ексцентриситет прикладання навантаження:

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{900}{1200} = 0,75 \text{ м.}$$

2. Знаходимо величину стиснутої зони бетону під опорною плитою за формулою (3.6)

$$x = l_s - \sqrt{\frac{l_s^2 - 2N(e_0 + c)}{R_b \cdot b_s}} = 0,9 - \sqrt{\frac{0,9^2 - \frac{2 \times 1200(0,75 + 0,4)}{870005}}{870005}} = 0,48 \text{ м.}$$

3. Розрахункове навантаження, що припадає на один розтягнутий болт, відповідно до формули (3.5) дорівнює:

$$P = \frac{R_b \cdot b_s \cdot x - N}{n} = \frac{8700 \times 0,5 \times 0,48 - 1200}{2} = 444 \text{ кН,}$$

де $n = 2$ – кількість розтягнутих (що висмикуються) болтів.

4. Визначаємо необхідну площу перерізу болта (за різьбленням):

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s} = \frac{1,05 \times 444}{1,85 \times 10^5} = 0,00252 \text{ м}^2 = 25,2 \text{ см}^2.$$

Приймаємо болт з діаметром різьблення М64 ($A_s = 26,75 \text{ см}^2$).

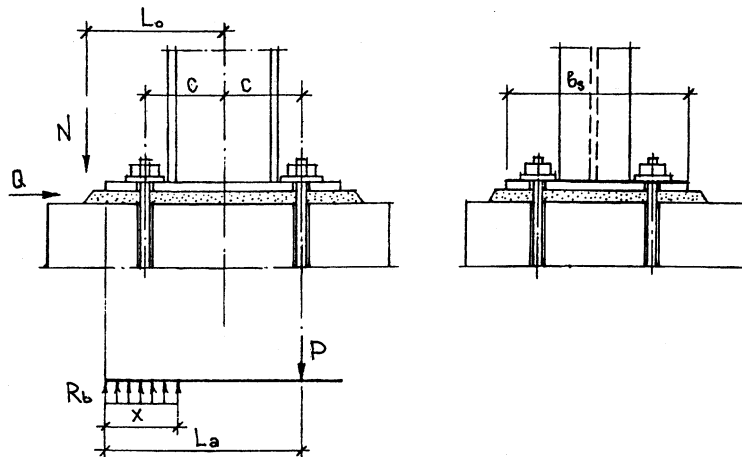


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема зусиль в опорному перерізі для сталевих колон суцільного типу

5. Перевіряємо можливість сприйняття зсувної сили у площині сполучення бази колони з фундаментом за формулою (3.17)

$$Q \leq f \left(\frac{nA_s R_s}{4} + N_1 \right) = 0,25 \cdot \left(\frac{2 \times 1,85 \times 10^5 \times 26,75}{4} + 600 \right) = 211,9 \text{ кН},$$

де N_1 – мінімальна поздовжня сила, що відповідає навантаженням, від яких визначається зсувна сила ($N_1 = 600$ кН).

Тоді $Q = 100$ кН < 211,9 кН – умова виконана.

6. Глибина закладення болта:

$$l_{\text{анк}} = 10d_s = 10 \times 64 = 640 \text{ см.}$$

7. Зусилля попереднього затягування болта при спільній дії вертикальних і зсувних сил визначаємо за формулою (3.10):

$$F_0 = F + F_1 / k,$$

де k – коефіцієнт стабільності затягування згідно з таблицею 2.1 дорівнює 1,7; F_1 – зусилля попереднього затягування болтів для сприйняття зсувних зусиль визначаємо за формулою (3.9)

$$F_1 = k \cdot \frac{Q - Nf}{nf} = 1,7 \times \frac{100 - 1200 \times 0,25}{4 \times 0,25} = -340,0 \text{ кН.}$$

Тоді $F_0 = F = 333,0$ кН.

Приклад 7. Визначити розрахункове навантаження, що припадає на найбільш навантажений болт, за розрахунковою схемою, наведеною на рисунку 3.1, за таких вихідних даних. Розрахунковий перекидний момент від устаткування $M = 1\,200$ кН·м, власна вага устаткування $N = 100$ кН. Кількість болтів $n = 8$, відстань від осі повороту устаткування до найбільш віддаленого болта $y_{i_1} = 0$; $y_{i_2} = 1,45$ м; $y_{i_3} = y_1 = 2$ м.

Розрахункове зусилля (розтягування) на найбільш навантажений болт визначаємо за формулою (3.3)

$$P = -\frac{N}{n} + \frac{My_1}{\sum y_i^2} = -\frac{100}{8} + \frac{1200 \times 2}{16,41} = 133,75 \text{ кН},$$

де $\sum y_i^2 = 1,45^2 \times 4 + 2^2 \times 2 = 16,41 \text{ м}^2$.

Приклад 8. Визначити розрахункове навантаження, що припадає на болт, і діаметр болта з анкерною плитою для кріплення ґратчастої сталеві колони (рис. 3.3) за таких вихідних даних: $M = 8\,000$ кН·м; $N = 6\,000$ кН; $Q = 60$ кН; $h = 2$ м; $R_s = 1,75 \times 10^5$ кПа (сталь марки 09М2С).

$$b = h/2 = 1 \text{ м}, \quad n = 2.$$

1. Розрахункове навантаження, що припадає на один розтягнутий болт, знаходимо за формулою (3.4)

$$P = (M - Nb)/nh = (8000 - 6000 \times 1)/2 \times 2 = 500 \text{ кН.}$$

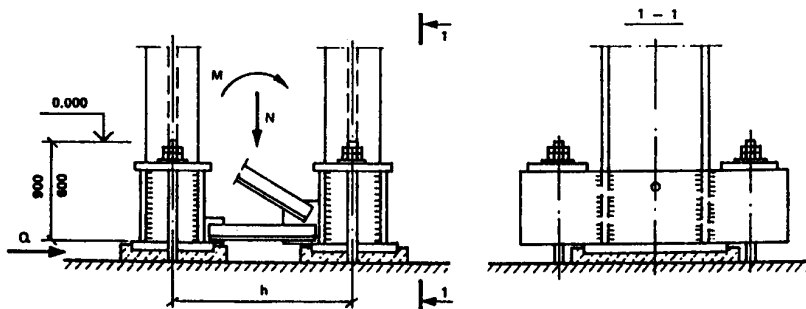


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема зусиль в опорному перерізі сталевій колони гратчастого типу

2. Визначаємо необхідну площу перерізу одного болта (за різьбленням):

$$A_s = \frac{k_0 P}{R_s} = \frac{1,05 \times 500}{2,2 \times 10^5} = 0,0024 \text{ м}^2 = 24 \text{ см}^2.$$

За таблицю 3.7 приймаємо болт із діаметром різьблення М64 ($A_s = 26,75 \text{ см}^2$).

3. Глибину закладення для болтів з анкерною плитою приймаємо такою, що дорівнює $15d$ (табл. 3.1), для бетону фундаменту класу В12,5 і сталі марки 09М2С.

$$l_{\text{анк}} = 15d_s = 15 \times 0,072 = 1,08 \text{ м.}$$

4. Перевіряємо можливість сприйняття зсувної сили у площині сполучення бази колони з фундаментом за формулою (3.16)

$$Q \leq \frac{f[M + V(h - b)]}{h} = \frac{0,25 \times [8000 + 6000(3 - 1,5)]}{3} = 1417 \text{ кН,}$$

де h – відстань між осями віток колон ($h = 3 \text{ м}$); b – відстань від центра ваги колони до осі стиснутої вітки ($b = 1,5 \text{ м}$); $Q = 300 \text{ кН} \leq 1417 \text{ кН}$ – умова виконана.

Приклад 9. Розрахувати кріпильний вузол на дію центрально-докладеного зусилля відриву. Технологічне обладнання кріпиться в чотирьох точках на існуючому фундаменті, який виготовлений із бетону класу С12/15. На кожну точку закріплення діє сила відриву $P_{\text{відр}} = 8,5 \text{ кН}$. Кріпильні вузли прийняті у вигляді сталевих пластин розміром $150 \text{ мм} \times 150 \text{ мм}$ із привареними в тавр болтами $d = 16 \text{ мм}$. Товщина сталеві пластини $\delta_{\text{пл}} = 10 \text{ мм}$. Інженерне технологічне устаткування проектується до безперервного використання на термін у 20 років.

Отже, розрахунок клейового з'єднання здійснюється за формулою (3.24).

Для прийнятої сталеві пластини умовна жорсткість становить

$\Delta = \frac{\delta_{\text{пл}}}{a} = 0,0625 \approx 0,06$, тоді $k_I = 0,4$. Для площі приклеювання, яка дорівнює

$$F_{np} = 225 \text{ см}^2 - k_2 = 0,82 \text{ (табл. 3.2)}.$$

Значення коефіцієнта k_3 визначається за формулою (3.26). Разом із тим площа ділянки бетону F_6 у зоні приклеювання, яка припадає на один кріпильний вузол, становить 900 см^2 . Тоді:

$$k = \sqrt[3]{\frac{F_6}{F_{кл}}} = \sqrt[3]{\frac{900}{225}} = 1,59.$$

Значення коефіцієнта k_4 приймаємо таким, що дорівнює $1,0$, тому що бетонна поверхня фундаменту становить верх бетонування.

Значення коефіцієнта k_5 приймаємо таким, що дорівнює $1,03$ (згідно з табл. 3.10).

Відповідно до ДБН В.2.6-98:2009 «Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» [131] та EN (Єврокод 2) [132] для бетону класу C12/15 $f_{ctd} = 0,73 \text{ МПа} \approx 7,44 \text{ кгс/см}^2$. Отже:

$$R_{відр}^{кл} = 0,4 \times 0,82 \times 1,0 \times 1,59 \times 1,03 \times 7,44 = 3,99 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 0,391 \text{ МПа}.$$

Тоді:

$$P_{відр} = 3,99 \times 225 = 897,75 \text{ кгс} \approx 8,97 \text{ кН} > 8,5 \text{ кН}.$$

Отже, діюча в точках закріплення сила відриву безаварійно сприймається клейовим сталобетонним з'єднанням.

Приклад 10. Розрахувати кріпильний вузол на дію позacentрово-докладених зусиль відриву, якщо $P_{н.відр} = 8,0 \text{ кН}$ докладене з ексцентриситетом $e = 0,3a$. Решта умов відповідають даним у прикладі 1.

Для заданого ексцентриситету $e = 0,3a$ коефіцієнт $k_6 = 0,49$ (згідно з табл. 3.11). Виконуємо розрахунок за формулою (3.24):

$$P_{н.відр} \leq 9,13 \times 0,49 = 4,47 \text{ кН} < 8,0 \text{ кН}.$$

Сприйняття докладеної до кріпильного вузла сили $P_{н.відр} = 8,0 \text{ кН}$ не забезпечується. Тому потрібно збільшити розміри пластини (у цьому випадку її товщину) до $\delta_{пл} = 24 \text{ мм}$, умовна жорсткість пластини $\Delta = 0,16$ та коефіцієнт k_1 дорівнює $0,81$. Тоді:

$$R_{відр}^{кл} = 0,81 \times 0,82 \times 1,0 \times 1,59 \times 1,03 \times 7,44 = 8,09 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 0,79 \text{ МПа}.$$

Отже:

$$P_{відр} = 8,09 \times 225 = 1820 \text{ кгс} \approx 17,85 \text{ кН}.$$

Тому:

$$P_{н.відр} = 17,85 \times 0,49 = 8,74 \text{ кН} > 8,0 \text{ кН} - \text{умова міцності виконана}.$$

Приклад 11. Перевірити міцність безанкерного клейового сталобетонного з'єднання, якщо на кріпильний вузол діє сила зсуву $P_{зсв} = 3,0$ кН, яка докладена із ексцентриситетом $e = 0,6a$. Кріпильний вузол становить пластину розміром $100 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$ і товщиною $\delta_{nl} = 18 \text{ мм}$. Пластина приклеєна на вертикальну поверхню технологічного тунелю, який виконано із бетону класу С16/20. Поверхня бетону становить низ бетонування.

Для прийнятої пластини умовна жорсткість дорівнює $\Delta = 0,099$. Визначаємо значення коефіцієнтів (див. вище): $k_1 = 0,57$; $k_2 = 0,85$ – для площі приклеювання $F_{np} = 200 \text{ см}^2$.

Розрахунковий опір бетону на розтяг $f_{ctd} = 0,9$ МПа, коефіцієнт $k_4 = 1,3$. Тоді за формулою (3.28):

$$P_{зсв} = 0,57 \times 0,85 \times 1,3 \times 2 \times 9,18 \times 200 = 2134 \text{ кгс} = 20,93 \text{ кН}.$$

Далі визначаємо силу $P'_{зсв}$ за формулою (5.8) при ексцентриситеті $e = 0,6a$ та коефіцієнті $k_6 = 0,17$:

$$P'_{зсв} = 0,17 \times 20,93 = 3,56 \text{ кН} > 3,0 \text{ кН} \text{ – умова міцності забезпечена.}$$

Приклад 12. Перевірити міцність клейового сталобетонного з'єднання, коли до кріпильного вузла докладене зусилля кручення $P_{кр} = P'_{зсв} = 13$ кН із плечем $l = 0,6a$. Решта умов відповідають даним у прикладі 11.

Для $l = 0,6a$ визначаємо коефіцієнт $k_8 = 0,76$ (табл. 3.13).

Тоді за формулою (3.28): $P'_{зсв} = 0,76 \times 20,93 = 15,9$

$$P'_{зсв} = 0,76 \times 20,93 = 15,9 \text{ кН} > 13 \text{ кН} \text{ – умова міцності забезпечена.}$$

Для проектування вузлів кріплення рекомендується приймати площу приклеювання не більше ніж $1\ 000 \text{ см}^2$. У разі конструктивного монтажу виробничого обладнання, виходячи з діаметра використовуваних анкерних болтів, рекомендується приймати таку площу приклеювання вузлів (табл. 3.14).

Таблиця 3.14 – Площа приклеювання вузлів

Діаметр болта, мм	12	14	16	18	20	22	24
Площа приклеювання, F_{np} , см^2	150	200	270	340	420	510	620

З метою улаштування кріплення інженерного обладнання до бетонних / залізобетонних підлог та елементів перекриття застосовують вузли, що складаються із сталеві опорної пластини прямокутної або квадратної конфігурації, до якої приварюється в тавр сталевий стрижень із метричною різьбою для загвинчування гайки у верхній частині. Товщину сталеві опорної пластини призначають враховуючи її умовну жорсткість, діаметр привареного стрижня (болта) та міцності клейового сталобетонного з'єднання. Цей показник має за-

довольняти умові $\delta \geq 0,75d_6$. Загальна довжина стрижня (болта) визначається виходячи з товщини сталеві пластини в частині безпосереднього обпирання обладнання, що закріплюється, та висоти підливки розчину.

Для кріплення трубопроводів і різних технологічних комунікацій до бетонних / залізобетонних виробів та конструкцій використовують вузли кріплення, які становлять опорну сталеву пластину (див. рис. 1.15, а), пластину з петлею (див. рис. 1.16, а), або кронштейн (див. рис. 1.15, а; 1.16, б). У цих умовах технологічні комунікації закріплюють безпосередньо обпиранням або підвішуванням до самих вузлів.

Для улаштування зазначених кріпильних клейових вузлів рекомендується застосовувати опорні сталеві пластини прямокутної конфігурації. Водночас довша сторона опорної пластини має бути розташована уздовж дії зусиль, які докладаються до вузла. Товщина сталеві пластини δ_{nl} визначається виходячи з товщини кронштейна або діаметра приварених петель та перевіряється розрахунком.

Для проектування і улаштування безанкерних клейових вузлів потрібно додержуватися нормативів та вимог ДБН В.2.6-98:2009 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» [131] та EN (Єврокод 2) [132], ДСТУ Б В.2.6-2:2009 «Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови» [133], ДСТУ Б В.2.6-156:2010 «Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування» [134], ДСТУ Б В.2.6-156:2010 «Арматурні та закладні вироби зварні, з'єднання зварні арматури та закладних деталей виробів залізобетонних конструкцій» [135], НПАОП 28.52-1.31-13 «Правила охорони праці під час зварювання металів» [136].

3.4 Проектування анкерних болтів і їхні позначення на кресленнях

Відповідно до розрахунків, наведених у параграфі 3.1, приймається конструкція обраного типу анкерного болта.

При робочому проектуванні фундаментів під устаткування болти на кресленнях у плані наносяться умовними позначеннями і маркуються двома буквами і цифрою (див. рис. 3.4), де прописна буква «А» позначає діаметр різьблення, мала буква «в» – довжину болта, цифровий індекс «2» – установну марку й оцінку верху болта даної марки. Болти в плані прив'язуються до розбивочних осей устаткування (див. рис. 3.4) і відображуються в специфікації за формою, наведеною в таблиці 3.15.

Діаметр різьби болтів, мм		10	12	16	20	24	30	36	42	48	56	64	72	80	90	100	110	125	140
Умовні позначення																			
Марка болта	заготовочна	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И	К	Л	М	Н	П	Р	С	Т	У	Ф
		а, б, в, г, д, е ...																	
	установочна	1, 2, 3, 4, 5, 6 ...																	

Рисунок 3.4 – Умовні позначення болтів

Приклад специфікації болтів наведений на рисунку 3.5






Марка фунда- менту	Марка болтів			Діаметр різьби болтів, мм	Кількість болтів, шт	Позначення, мм		Довжина виступаю- чої частини, мм	Довжина болта, мм
	заго- товоч- на	уста- новоч- на	умовні позначення			верху болта	верху бетону		
ФО-3	Да	1		M24	8	+50	-150	200	1400
	Да	2		M24	6	-100	-300	200	1400
	Жа	1		M36	6	-50	-350	300	1800
	Жа	2		M36	6	-150	-450	300	1800
	Жб	1		M36	8	-100	-500	400	1900

Рисунок 3.5 – Специфікація болтів

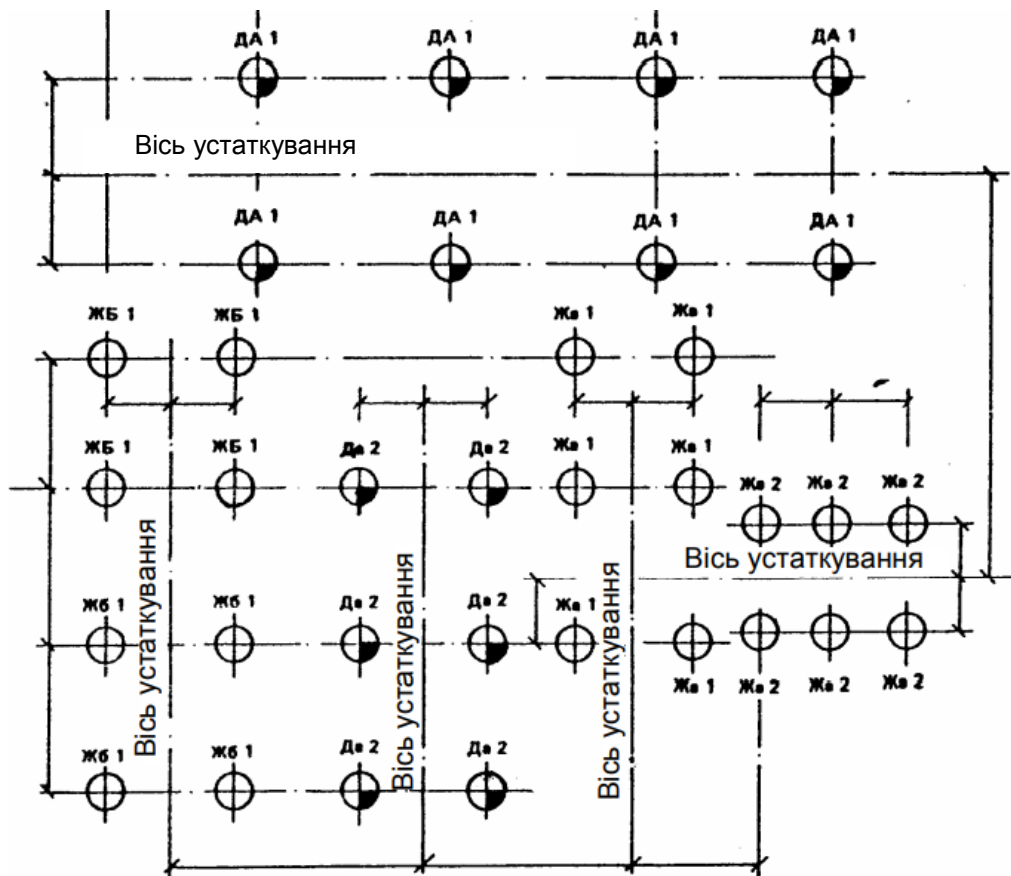


Рисунок 3.6 – Прив'язка болтів у плані до розбивочних осей устаткування

Питання для самоперевірки до розділу 3

1. Види навантажень, що впливають на анкерні болти?
2. У яких випадках використовуються конструктивні болти?
3. На які конструкції анкерних болтів поширюються обмеження і які?
4. Як визначається площа перетину болта залежно від виду навантаження?
5. Що таке зумилля попереднього затягування болтів і від чого залежить його величина?
6. Які коефіцієнти використовуються при розрахунку анкерних болтів і від чого вони залежать?
7. Як визначаються анкерні болти на кресленнях при їхньому проектуванні?

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КЛЕЙОВОГО АНКЕРНОГО З'ЄДНАННЯ

4.1 Напружено-деформований стан клейового анкерування сталевих стержнів у бетон

4.1.1 Напруження в з'єднанні

Через істотне розходження фізико-механічних властивостей і поперечних розмірів анкера, клейового шару і бетону, інтенсивність напружень по поверхні контактів клей-анкер, клей-бетон неоднакова і, отже, тут неминуче виникає концентрація напружень. Її недооцінка може призвести до помилкових уявлень про міцність клейового з'єднання. Визначення напружень в елементах з'єднання – складне теоретичне завдання. Вибір адекватної розрахункової схеми залежить від геометричних розмірів з'єднання і фізико-механічних властивостей матеріалів, що його утворюють.

Сталь і бетон – класичні конструктивні матеріали. Рівень напруженого стану анкерного з'єднання на клеї (епоксидному, акриловому та ін.) при експлуатаційних навантаженнях такий, що сталь і бетон можна приймати пружними тілами, що підпорядковуються закону Гука. Епоксидні й акрилові клеї також підпорядковуються цьому законові. Тому напружений стан анкерного з'єднання на першій стадії роботи залізобетонного елемента загалом може бути описаний залежностями теорії пружності для випадку закладення як гладких стержнів, так і періодичного профілю.

Оскільки анкер віддалений від грані залізобетонної конструкції (фундаменту, колони), то в розрахунковій схемі прийнято, що останній знаходиться в необмеженому масиві. Тоді напружено-деформований стан анкерного з'єднання може бути отриманий в результаті розв'язання осесиметричної задачі теорії пружності для тришарового тіла: сталевий циліндр-анкер, порожній циліндр-клей, зовнішній циліндр-бетонний масив.

Описане нижче розв'язання дозволяє одержати картину розподілу напруження (кількісну і якісну) між елементами з'єднання.

Відповідно до розрахункової схеми (рис. 4.1) розглядається осесиметрична задача теорії пружності для трьох тіл. Така постановка питання дає змогу більш строго підійти до вирішення основних питань анкерування; визначення закладення анкера в бетонний масив, питання про вплив діаметра анкера і товщини клейового шару, фізико-механічних властивостей клею і бетону на напружено-деформований стан анкерного з'єднання на клеї.

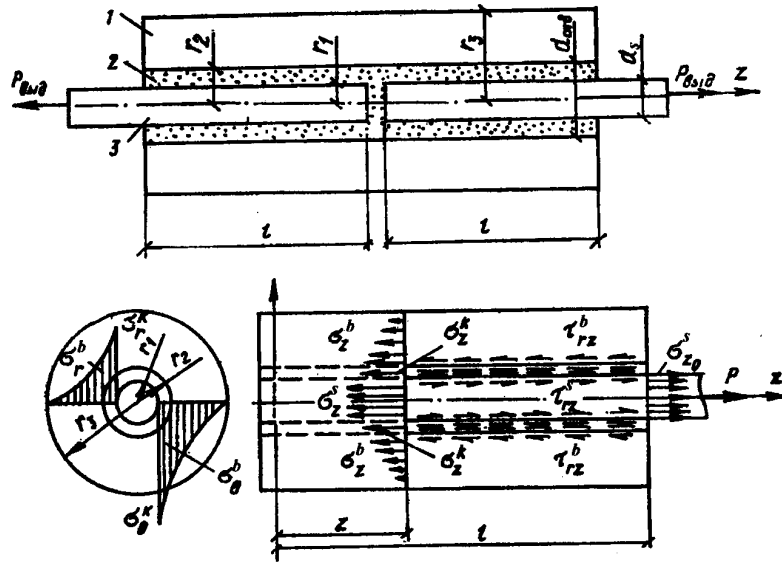


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема анкерного з'єднання на клею:
 1 – бетонний циліндр; 2 – клейовий циліндр; 3 – сталевий анкер

При розгляді напружено-деформованого стану тіл обертання під дією осесиметричного навантаження напруження і переміщення виражаються через функцію напружень А. Лява [15,33,82].

У результаті розв'язання осесиметричної задачі теорії пружності за граничних умов, що відповідають висмикуванню анкера з двошарового середовища, отримано вирази дотичних τ_{rz} нормальних осьових σ_z , радіальних σ_r , і колових σ_θ напружень, осьових W і радіальних i переміщень:

а) у клейовому циліндрі на контакті клей-анкер

$$\tau_{rz}^k = -\sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2 \varphi_1 \left[B_s K_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) - D_s I_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) \right]; \quad (4.1)$$

$$\sigma_z^k = -\sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2 \varphi_2 \left[B_s K_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) - D_s I_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) \right]; \quad (4.2)$$

$$\sigma_r^k = -\sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2 \varphi_3 \left[B_s K_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) + D_s I_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) \right] - \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{lr}\right)^2 \varphi_4 \left[B_s K_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) - D_s I_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) \right]; \quad (4.3)$$

$$\sigma_\theta^{(k)} = -2\mu_k \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l}\right)^2 \cos k \lambda_s \left[B_s K_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} + D_s I_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l}\right) \right) \right] +$$

$$+ \sum_s \frac{\lambda_s}{lr} \varphi_4 \left[B_s K_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right) - D_s I_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right) \right]; \quad (4.4)$$

$$u^{(k)} = \frac{1 + \mu_\kappa}{E_\kappa} \sum_s \frac{\lambda_s}{l} \varphi_4 \left[B_s K_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right) - D_s I_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right) \right]; \quad (4.5)$$

$$W^\kappa = \frac{1 + \mu_\kappa}{E_\kappa} \sum_s \frac{\lambda_s}{l} \varphi_5 \left[B_s K_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right) + D_s I_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right) \right]; \quad (4.6)$$

б) у бетоні на контактї клей-бетон

$$\tau_{rz}^{(b)} = - \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l} \right)^2 \varphi_1 L_s K_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right); \quad (4.7)$$

$$\sigma_z^{(b)} = - \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l} \right)^2 \varphi_2 L_s K_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right); \quad (4.8)$$

$$\sigma_r^{(b)} = - \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l} \right)^2 \varphi_3 L_s K_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right) - \sum_s \frac{\lambda_s}{lr} \varphi_6 L_s K_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right); \quad (4.9)$$

$$\sigma_\theta^{(b)} = -2\mu_b \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l} \right)^2 \cos k \lambda_s L_s K_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right) + \sum_s \frac{\lambda_s}{lr} \varphi_6 L_s K_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right); \quad (4.10)$$

$$u^{(b)} = \frac{1 + \mu_b}{E_b} \sum_s \frac{\lambda_s}{l} \varphi_6 B_s K_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right); \quad (4.11)$$

$$W^{(b)} = \frac{1 + \mu_b}{E_b} \sum_s \frac{\lambda_s}{l} \varphi_7 L_s K_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l} \right); \quad (4.12)$$

в) в анкері за довжиною його закладення

$$\begin{aligned} \sigma_z^{(s)} = & \sigma_{z0}^{(s)} - 2l_0 \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l} \right)^2 \varphi_8 \left[B_s K_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l_0} \right) - D_s I_1 \left(\frac{\lambda_s}{l_0} \right) \right] + \\ & + 2\mu_s \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{l} \right)^2 \varphi_3 \left[B_s K_0 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l_0} \right) + D_s I_0 \left(\frac{\lambda_s}{l_0} \right) \right] + \\ & + 2\mu_s \sum_s \left(\frac{\lambda_s}{lr_1} \right)^2 \varphi_4 \left[B_s K_1 \left(\frac{\lambda_{sr}}{l_0} \right) - D_s I_1 \left(\frac{\lambda_s}{l_0} \right) \right]. \end{aligned} \quad (4.13)$$

У формулах (4.1) – (4.13) прийнято позначення:

$$k = \frac{z}{l}; \quad (4.14)$$

$$l_0 = \frac{l}{r_1}; \quad (4.15)$$

$$l_1 = \frac{l}{r_2}, \quad (4.16)$$

де l – глибина закладення анкера; r_1 – радіус анкера; r_2 – радіус свердловини в бетоні; λ_s – корені трансцендентного рівняння $\sin \lambda_s, \cos \lambda_s = 0$ при $S = 1, 2, 3, \dots$; $K\left(\frac{\lambda_s}{l}\right)$ – функція Макдональда; $I_n\left(\frac{\lambda_s}{l}\right)$ – Бесселева функція чисто уявного аргументу; B_s, D_s, L_s довільні параметри, при визначенні яких використовують граничні умови, вказані вище; μ_s, μ_b, μ_k – коефіцієнти Пуассона відповідно анкера, бетону і клею; E_s, E_b, E_k – модулі пружності відповідно анкера, бетону і клею; φ_n – величина, що залежить від k і λ_s .

На підставі розрахунків, проведених на ПК за виразами (4.4) – (4.16), установлений характер розподілу напружень і переміщень, що виникають на контактах клей-анкер, клей-бетон у забитій частині анкера під час впливу висмикувального зусилля $P_{\text{вбд}} = \frac{\pi d_s^2}{4} \sigma_{z_0}^s$, де d_s – діаметр анкера, $\sigma_{z_0}^s$ – напруження на завантаженому кінці анкера, МПа.

Результати розрахунків наведені у вигляді залежностей, що характеризують напружено-деформований стан анкерного з'єднання за прикладання висмикувального зусилля до анкера (рис. 4.2). Початок координат залежностей розташовано на кінці забитої в бетон частини анкера. Для наочності й зручності зіставлення залежності подані у відносних величинах $\sigma_z / \sigma_{z_0}^s$, $\sigma_r / \sigma_{z_0}^s$, $\sigma_\theta / \sigma_{z_0}^s$ чи $\sigma_{rz} / \sigma_{z_0}^s$ від z/l , де z – ордината перерізу на глибині закладення стержня.

Аналіз розподілу нормальних осьових напружень в анкері σ_z^s за довжиною його закладання (рис. 4.2, а) показує, що максимальні розтягувальні напруження виникають на початку глибини закладання. Це визначно впливає на міцність анкерного з'єднання.

Епюри дотичних напружень (рис. 4.2, б) показують, що останні є максимальними в клеї на контакті клей-анкер і рівні $\tau_{rz}^k = 2,06\tau_{cp}^k$, а в бетоні – на контакті клей-бетон $\tau_{rz}^{(b)} = 1,78\tau_{cp}^{(b)}$. Тому розрахунок анкерного з'єднання на міцність за середніми дотичними напруженнями призводить до істотних помилок.

Міцність клейових з'єднань на епоксидному і акриловому клеях на зрушення і на розтягання на контакті клей-бетон визначається міцністю бетону. Крім того, дія максимального дотичного напруження на цій контактній повер-

хні стосовно бетонного масиву має місцевий характер і значно менше максимального дотичного напруження на контакті клей-анкер. Межа міцності на зрушення для контакту клей-анкер залежить від складу клею. Дотичні напруження, що виникають на вказаному контакті, є одним із визначальних факторів міцності цього з'єднання.

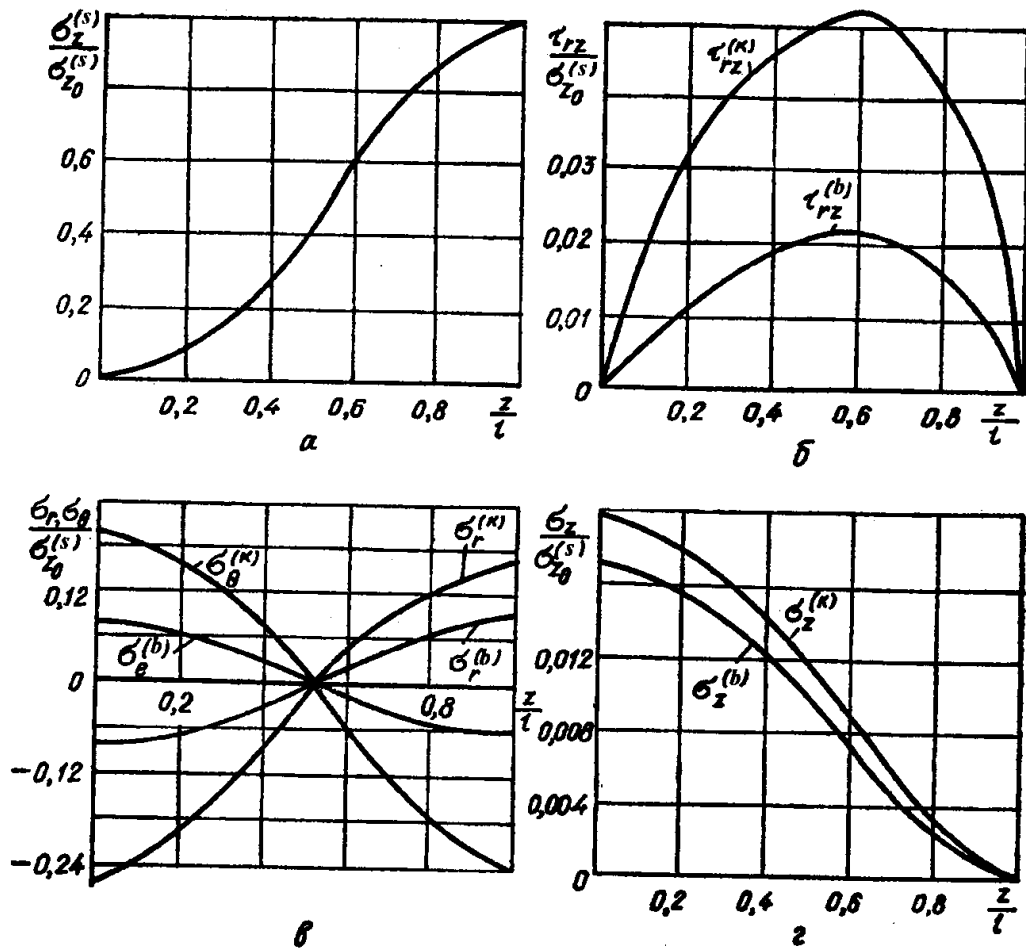


Рисунок 4.2 – Розподіл напружень в анкерному з'єднанні:
 а – нормально-розтягувальних; б – дотичних; в – радіально-колових;
 г – нормально-розтягувальних

Радіальні напруження (рис. 4.2, в), що виникають у зв'язку з наявністю поперечних деформацій у з'єднанні, шляхом розходження пружних властивостей анкера, клею і бетону особливо великі наприкінці зони анкерування. На цій ділянці зони анкерування радіальні напруження, що розтягують, σ^m на контакті клей-анкер можуть перевищити граничні значення напруження відриву клею від металу. У місці концентрації радіальних розтягуючих напружень може початися руйнування клейового з'єднання на контакті клей-анкер, що зменшить глибину закладення анкера. Це призведе до збільшення $\tau_{rz}^{(k)}$ і досяг-

нення його межі міцності на зрушення, тобто до втрати міцності з'єднання. Таке явище спостерігається під час закладання анкера на глибину $l \geq 10d_s$.

Радіальні стискальні напруження $\sigma_r^{(b)}$ наприкінці зони анкерування можуть перевищити граничні значення міцності клею і бетону на стиск на контакті клей-бетон. Для бетону необхідно враховувати місцевий характер впливу напружень $\sigma_r^{(b)}$. На початку зони анкерування, крім того, міцність бетону на контакті клей-бетон буде визначатися нормальними коловими стискальними напруженнями $\sigma_\theta^{(b)}$, де вони досягають максимального значення.

Нормальні осьові напруження (рис. 4.2, г) у клейовому шарі й бетоні $\sigma_z^{(b)}$ відповідно на контактах клей-анкер і клей-бетон порівняно невеликі і на міцність з'єднання не справляють вирішального впливу. Вони мають максимальні значення наприкінці зони анкерування й зменшуються до нуля в міру наближення до поверхні бетону.

У результаті аналізу отриманих залежностей можна дійти таких висновків: під час розрахунку міцності анкерних з'єднань на епоксидних і акрилових клеях потрібно враховувати максимальні значення напружень дотичних τ_{rz} , радіальних σ_r , і колових σ_θ , що більш повно характеризують роботу цього з'єднання; для розрахунку міцності з'єднання необхідно знати межу міцності за рівномірного відриву клею від поверхні металу, а також під час зрушення для контакту клей-метал.

4.1.2 Залежність напружень від фізичних властивостей матеріалів і геометрії з'єднання

Для встановлення раціональних геометричних параметрів анкерного з'єднання встановлено вплив на його напружений стан фізичних властивостей матеріалів, глибини закладення і діаметра анкера, товщини клейового шару і бетонного циліндра. Дослідження проводили шляхом розрахункового багатofакторного експерименту на ПК. Нижче наведені основні результати дослідження, що дозволили розробити інженерний метод розрахунку клейового анкерного з'єднання.

Вплив модуля пружності клею. Розрахунки виконані при таких геометричних розмірах і фізико-механічних характеристиках матеріалів, що утворюють анкерне з'єднання: анкер із сталі ВСтЗкп2 діаметром $d_s = 2$ см, модуль пружності $E_s = 2 \times 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu_s = 0,25$; акрилові клеї з

$E_k = 3 \times 10^3; 4,3 \times 10^3; 6,5 \times 10^3; 8 \times 10^3; 10 \times 10^3$ МПа і $\mu_k = 0,3$; товщина клеювого шару 1 см, масив з бетону класу В15 з $E_b = 2,3 \times 10^4$ МПа; $\mu_b = 0,16$; глибина закладення анкера $l_{анк} = 10 \times d_s = 20$ см.

У результаті розрахунків отримані епюри нормальних осьових напружень у забитій частині анкера σ_z^s , у бетоні σ_z^b і клеї σ_z^k , дотичних τ_{rz} , радіальних $\sigma_r^{k(b)}$ і колових $\sigma_\theta^{k(b)}$ напружень відповідно на контактах клей-анкер і клей-бетон, а також переміщень у клеї і бетоні W відповідно на контакті клей-анкер і клей-бетон. За цими епюрами побудовані графіки залежностей максимумів, вказаних напружень і переміщень, від модуля пружності клею.

Збільшення твердості акрилових клеїв, застосовуваних для закладення анкера в бетонний масив, супроводжується підвищенням міцності клеювого анкерування (рис. 4.3, а, б, е) і зниженням деформативності з'єднання (рис. 4.3, г, д). У міру збільшення модуля пружності акрилового клею зменшуються дотичні й нормальні напруження в клеювому циліндрі і на контакті клей-бетон. У той же час спостерігається збільшення нормальних осьових напружень у забитій в бетон частині анкера і радіальних на контактах клей-анкер і клей-бетон.

Завдяки меншому модулю пружності E_k порівняно з модулями пружності бетону E_b і металу E_s , клей розподіляє напруження, що виникають від прикладання висмикувального зусилля між анкером і бетонним масивом. Це пояснюється тим, що при висмикуванні напруження від анкера повністю передаються на клейовий шар і далі на бетон. Головний вектор дотичних напружень свідомо не залежить від співвідношень модулів пружності матеріалів, що утворюють анкерне з'єднання. Вплив фізико-механічних властивостей бетону на напружено-деформований стан анкерного з'єднання вивчали на бетонах класів В15, В20, В25, В30 і В40 з модулем пружності $E_b = 2,3 \times 10^4; 2,65 \times 10^4; 3,15 \times 10^4; 3,5 \times 10^4$ і $3,8 \times 10^4$ МПа зазначених вище при характеристиках анкера і клею. Фізико-механічні властивості бетону майже не впливають на зміну напружено-деформованого стану анкерного з'єднання. Це показують розрахунки і підтверджують експериментальні дослідження.

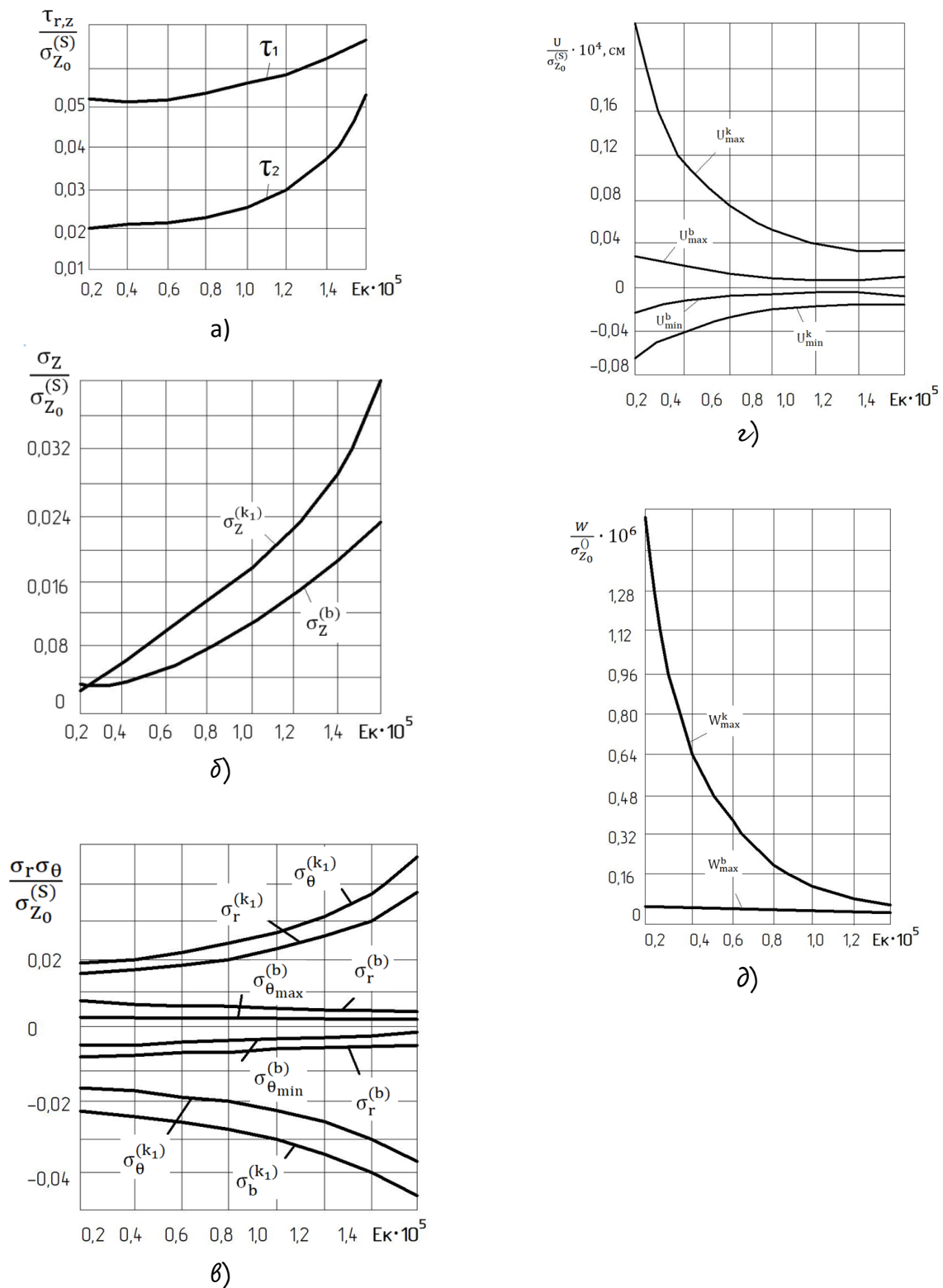


Рисунок 4.3 – Залежність масимумів дотичних (а), нормально-осьових (б), нормально-колових (в) напружень, радіальних (г), осьових (д) переміщень у клеї й бетоні відповідно на контактах клеї анкети (кІ) і клеї-бетон (кІІ) від модуля пружності клею

Вплив глибини закладення анкера. У результаті розрахунків із визначення впливу глибини закладення анкера на напружено-деформований стан анкерного з'єднання отримані епюри розподілу напружень і переміщень в анкері і клеї відповідно на контактах клей-анкер і клей-бетон. За ними побудовані графіки максимумів напружень і переміщень залежно від глибини закладання клейового анкера (рис. 4.4). Зі збільшенням глибини закладання анкера спостерігається згасаючий характер зменшення напружень в елементах з'єднання. Особливо це помітно при глибині закладення $l_{анк} \geq 10d_s$, коли напруження прагнуть до деякої межі. При подальшому її збільшенні міцність з'єднання не підвищується.

Вплив товщини клейового шару. Зміна товщини клейового шару призводить до значних змін напружено-деформованого стану анкерного з'єднання: зі зменшенням товщини клейового шару напруження в клеї на контакті клей-анкер збільшуються незначно, а на контакті клей-бетон різко зростають (рис. 4.5). Особливо це позначається на збільшенні дотичних $\tau_{rz}^{(b)}$ і радіальних $\sigma_r^{(b)}$ напружень у бетоні, які зі зменшенням товщини клейового шару ($\delta_{кл} \rightarrow 0$) прагнуть до значень дотичних і радіальних напружень у клеї на контакті клей-анкер.

Збільшення дотичних і нормальних радіальних напружень у бетоні на контакті клей-бетон найбільш небезпечно у зв'язку з малою міцністю бетону на зріз і розтягання. Очевидно, при товщині клейового шару, близького до нульового значення, може зруйнуватися з'єднання на контакті клей-бетон по бетону.

Вплив діаметра анкера. Вплив поперечних розмірів анкера на напружено-деформований стан досліджували на з'єднаннях з анкерами, діаметри яких охоплюють можливий діапазон їхнього застосування. Ці дослідження проводили в двох напрямках. Перше – при подібності геометричних розмірів анкерного з'єднання, тобто при постійних значеннях відношень l_0 , l_1 і l_2 . У цьому випадку поперечні розміри анкера не мають впливу на напружений стан з'єднання. Але за такої умови розміри свердловини в бетоні дуже великі (особливо для анкерів $d_s \geq 4$ см), не економічні і їх технологічно важко виконати. Тому були проведені дослідження в другому напрямку, коли порушується подібність геометричних розмірів з'єднання. У цьому випадку відношення l_0 залишається постійним, а l_1 і l_2 збільшуються зі зростанням діаметра анкера. Результати розрахунків подані графіками максимумів напружень і переміщень (рис. 4.6) залежно від діаметра анкера при постійній товщині клейового шару. Зі збільшенням діаметра анкера напруження і переміщення в елементах

з'єднання зростають. Особливо помітні збільшення напружень на контакті клей-бетон.

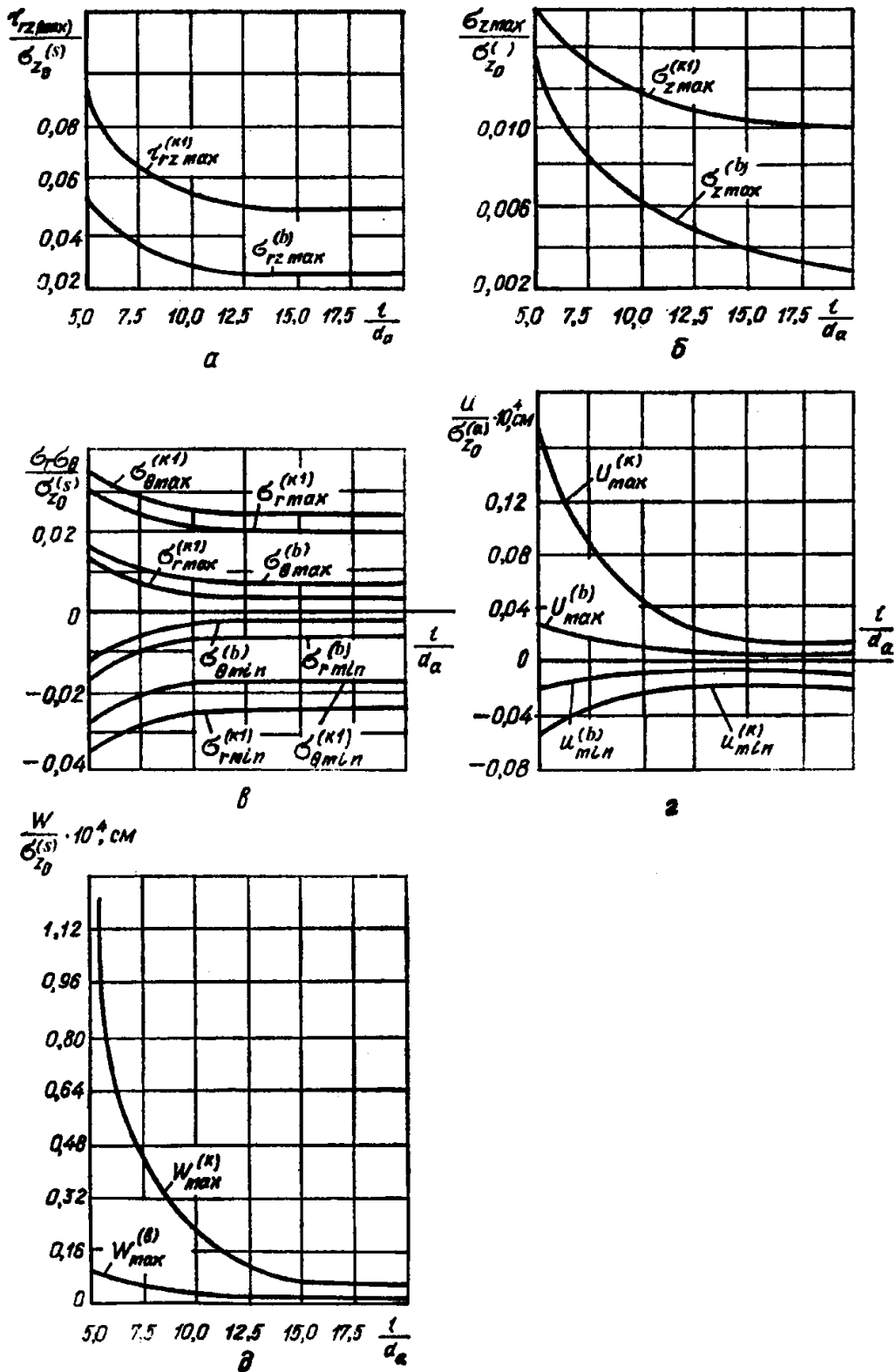
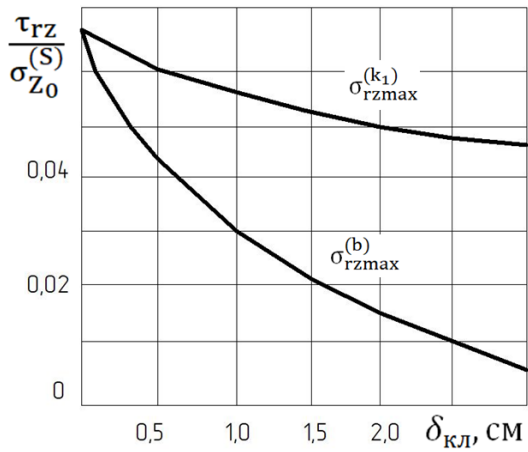
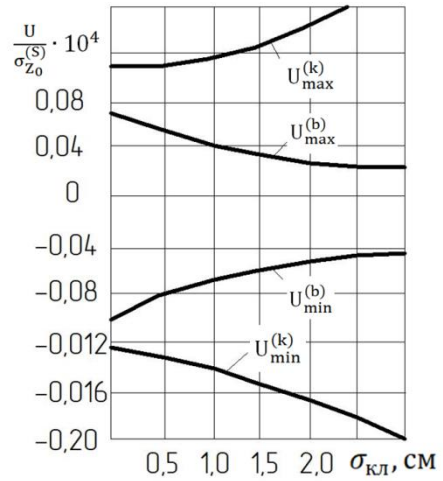


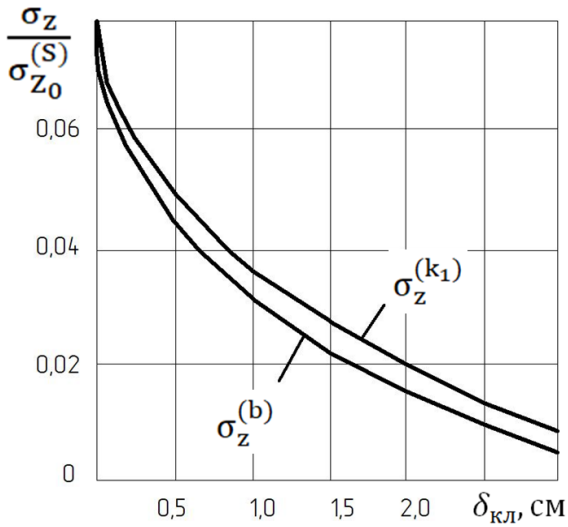
Рисунок 4.4 – Залежність максимумів дотичних (а), нормально-осьових (б), радіально-колових (в) напружень, радіальних (г), осьових (д) переміщень у клеї й бетоні відповідно на контактах клей-анкер (кI) і клей-бетон (кII) від глибини закладання анкера



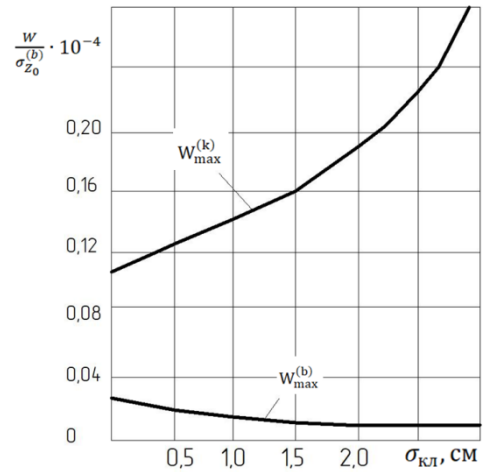
а



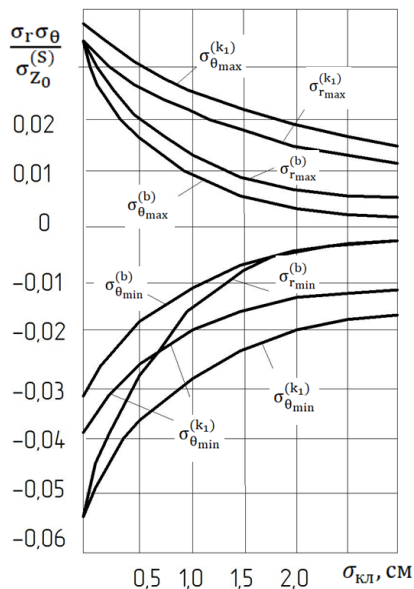
г



б



д



в

Рисунок 4.5 – Залежність від товщини клейового шару максимумів дотичних (а), нормально-осьових (б), радіально-колових (в) напружень, радіальних (г), осьових (д) переміщень у клеї й бетоні відповідно на контактах клей-анкер і клей-бетон

Отже, зі збільшенням l_1 і l_2 при постійному l_0 спостерігається незначне зростання дотичних напружень на контакті клей-анкер τ_{rz}^k і значне на контакті клей-бетон $\tau_{rz}^{(b)}$ (рис. 4.6, а). Значно збільшуються напруження σ_r^k і переміщення $i^{(k)}$ і $W^{(k)}$ у клеї на контакті клей-анкер і в бетоні $\sigma_r^{(b)}, u^{(b)}, W^{(b)}$ на контакті клей-бетон (рис. 4.6, в, г, д). Зростання значень дотичних і радіальних напружень зі збільшенням l_1 зменшує адгезійну міцність і несучу здатність анкерного з'єднання; зусилля $P_{вид}$, прикладене до анкера, зменшується.

Зростання нормальних осьових $\sigma_z^{(k)}$ і колових $\sigma_\theta^{(k)}$ напружень і переміщень u_k у клеї (рис. 4.6, б, в, г, д) не справляє істотного впливу на міцність з'єднання у вигляді великої міцності акрилового клею на стиск і розтягання.

Більш небезпечним є збільшення нормальних осьових $\sigma_z^{(b)}$, радіальних $\sigma_r^{(b)}$, колових $\sigma_\theta^{(b)}$ напружень і переміщень у бетоні (рис. 4.6, б, в, г, д), тому що напруження можуть перевищити межі міцності на стиск і розтягання бетону. У такому випадку необхідно збільшити товщину клейового шару або глибину закладення анкера, марку бетону чи передбачити конструктивні заходи щодо збільшення міцності з'єднання (наприклад, армування тіла бетону).

Вплив товщини бетонного циліндра. У випадку закладення болтів чи випусків арматури в обрізи або елементи фундаменту варто знати мінімальну відстань від них до грані бетону, для чого ми досліджували розподіл напружень у бетонній оболонці. Результати розрахунків подані на графіках (рис. 4.7) залежностей максимумів напружень і переміщень у з'єднанні від товщини бетонної оболонки. Згідно з цими графіками зі збільшенням товщини бетонного циліндра зростають максимумами дотичних τ_{rz} і радіальних σ_r напружень, але зменшуються максимумами нормальних осьових $\sigma_z^{(b)}$ і колових $\sigma_\theta^{(b)}$ напружень у бетоні. При товщині бетону $6d_s$ вони стабілізуються. Аналогічно змінюються радіальні й осьові переміщення (рис. 4.7, г, д).

Найбільш небезпечними є нормальні розтягувальні осьові й колові напруження, що виникають у бетонному циліндрі при висмикуванні анкера. Тому нормальні осьові напруження визначали при $z_0 = 0$ (де $\sigma_z^{(b)}$ має максимальне значення), а колові при $z = l_{анк}$ (де $\sigma_\theta^{(bII)}$ має максимальні значення) і в точках, віддалених від поверхні контакту клей-бетон на різні відстані.

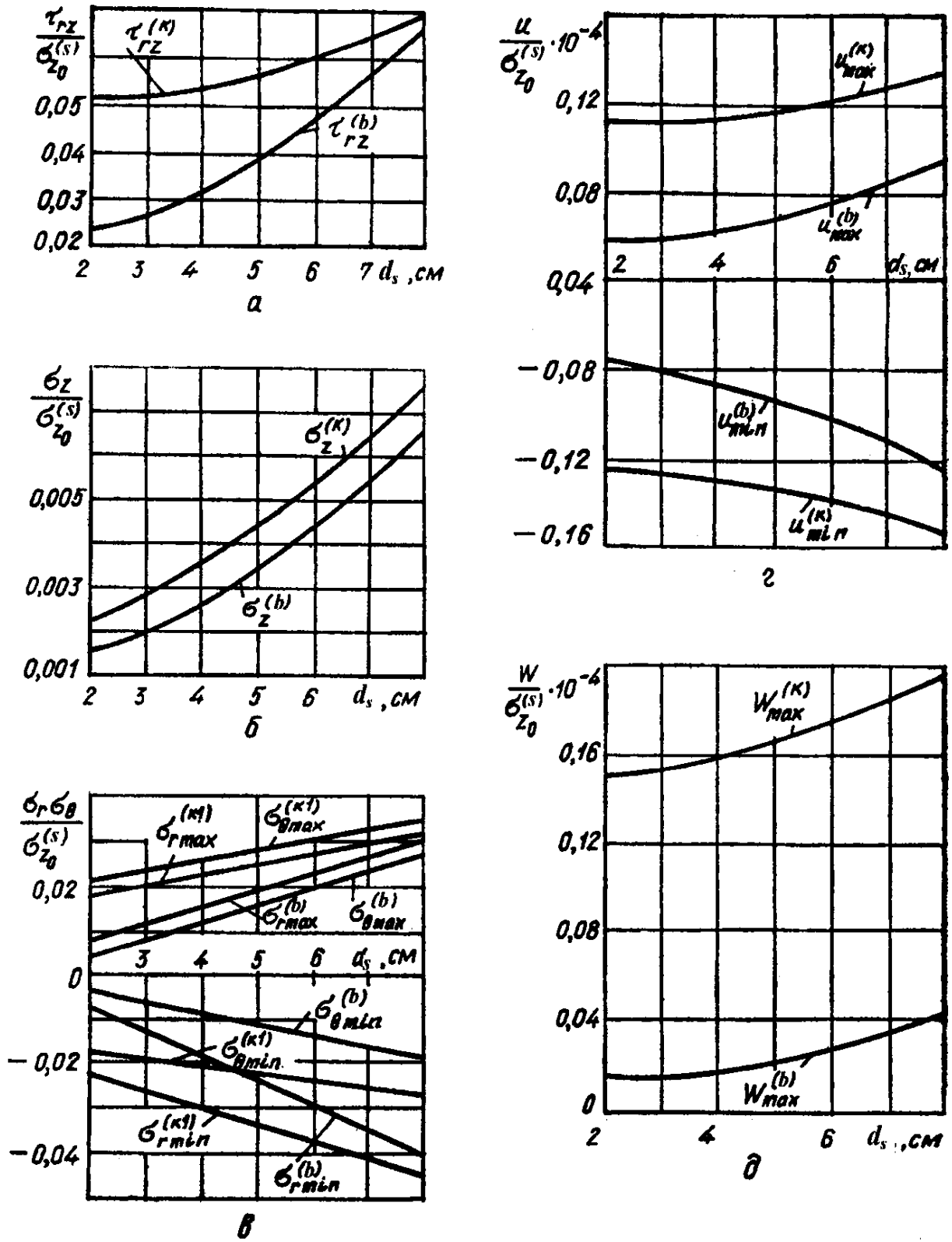


Рисунок 4.6 – Залежність від діаметра анкера максимумів дотичних (а), нормально-осьових (б), радіально-колових (в) напружень, радіальних (г) і осьових (д) переміщень у клеї і бетоні відповідно на контактах клей-анкер і клей-бетон

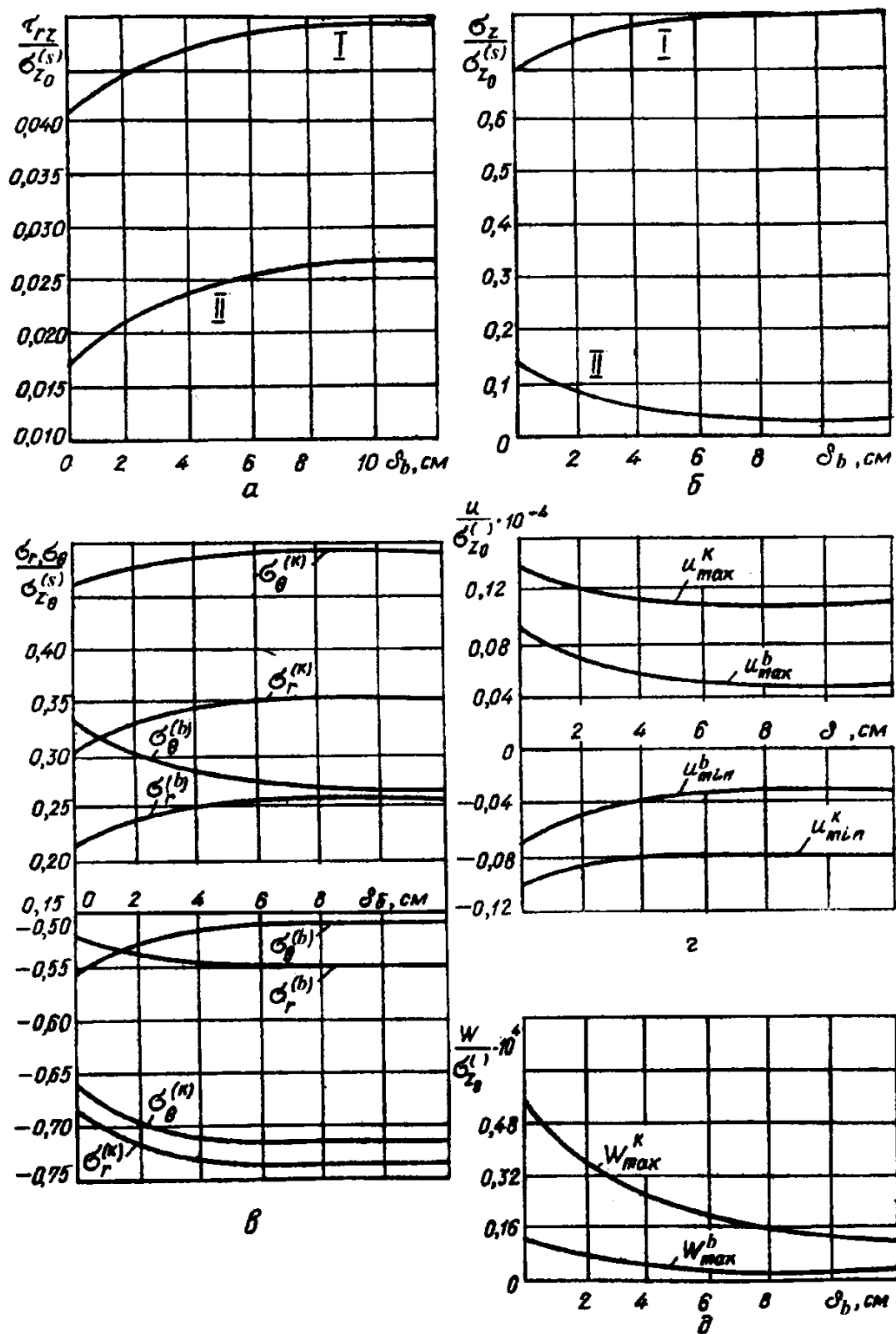


Рисунок 4.7 – Залежність від товщини циліндра максимумів дотичних (а), нормально-осьових (б), радіально-колових (в) напружень, радіальних (г) і осьових (д) переміщень у клеї і бетоні відповідно на контактах клей-анкер (I) і клей-бетон (II)

Отримані результати свідчать, що при віддаленні анкера від обрізу елемента на відстань $5d_s$ значного зменшення напружень в анкерному з'єднанні не відбувається.

4.2 Розрахунок анкерного з'єднання

Отриманий розв'язок задачі про напружено-деформований стан анкерного з'єднання на акрилових клеях дозволяє знайти напруження і деформації в будь-якій його точці.

Максимальні значення дотичних τ_{rz} , нормальних осьових σ_z , радіальних σ_r і колових σ_θ напружень у з'єднанні визначали за формулою:

$$\tau(\sigma) = \sigma_{z_0}^s k_1 k_2 k_3 k_4, \quad (4.17)$$

де $\sigma_{z_0}^s$ – розрахункове напруження в анкерному стержні, МПа; k_1, k_2, k_3, k_4 – коефіцієнти, що враховують фізико-механічні характеристики акрилового клею і геометричні характеристики анкерного з'єднання (табл. 4.1–4.4).

Щоб визначити напруження в найбільш небезпечних точках з'єднання, потрібно спочатку знати $l_1 = \frac{l_{анк}}{r_2}$ і $l_2 = \frac{l_{анк}}{r_3}$ при глибині закладення анкера $l_{анк} = 10d_s$.

Приклад розрахунку анкерного з'єднання. Анкерний болт діаметром $d_s = 5,6$ см закладають у бетон класу В20 на глибину $l_{анк} = 7,5d_s$ за допомогою акрилового клею з модулем пружності $E_k = 0,2 \times 10^4$ МПа. Товщина клейового шару $\delta_k = 1$ см, бетонної оболонки $\delta_b = 3,2$ см. Розрахункове навантаження на стержень $\sigma_{z_0}^{(s)} = 185$ МПа (за різьбленням), в анкері $\sigma_s = 133,74$ МПа.

Розраховуємо геометричні характеристики з'єднання $l_{анк} = 7,5d_s$; $d_s = 7,5 \times 5,8 = 42$ см, $l_0 = \frac{l_{анк}}{r_1} = \frac{42}{2,8} = 15$; $l_1 = \frac{l_{анк}}{r_2} = \frac{42}{3,8} = 11,05$; $l_2 = \frac{l_{анк}}{r_3} = \frac{42}{7,0} = 6$.

Максимальні значення напружень у відносних одиницях $E_k = 0,2 \times 10^4$ МПа знаходимо за таблицею 4.2, значення поправочних коефіцієнтів k_1, k_2, k_3 і k_4 залежно від $l_{анк}, l_1$ і l_2 – за таблицями 4.3 і 4.4.

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнта k_1 , що враховує напруження в елементах анкерного з'єднання залежно від модуля пружності акрилового клею за геометричних характеристик: $l_{анк} = 10d_s$, $l_0 = 20$, $l_1 = 10$ і $l_2 = 1,66$)

Вид напруження	k_1 за модуля пружності клею E_k , МПа						
	$0,2 \times 10^4$	$0,4 \times 10^4$	$0,6 \times 10^4$	$0,8 \times 10^4$	1×10^4	$1,2 \times 10^4$	$1,4 \times 10^4$
$\tau_{rz}^{(\kappa I)}$	0,050 6	0,051 3	0,053 6	0,055 0	0,057 0	0,059 0	0,062 5
$\tau_{rz}^{(b)}$	0,021 9	0,023 3	0,024 6	0,025 0	0,027 9	0,031 0	0,036 5
$\sigma_{rz}^{(\kappa I)}$	0,002 0	0,005 8	0,010 0	0,015 0	0,020 5	0,026 0	0,032 5
$\sigma_{rz}^{(b)}$	0,002 2	0,004 0	0,006 0	0,008 8	0,012 0	0,015 0	0,019 0
$\sigma_r^{(\kappa I) \max}_{\min}$	+0,017 0 -0,021 0	+0,019 0 -0,023 0	+0,021 0 -0,025 0	+0,023 0 -0,026 0	+0,026 0 -0,030 0	0,028 9 -0,033 9	0,023 6 -0,033 9
$\sigma_r^{(b) \max}_{\min}$	+0,006 6 -0,007 0	+0,005 9 -0,006 6	+0,005 3 -0,005 9	+0,004 9 -0,005 3	+0,004 6 -0,004 6	0,004 3 -0,004 4	0,003 9 -0,004 3
$\sigma_\theta^{(\kappa I) \max}_{\min}$	+0,019 4 -0,016 6	0,021 0 -0,017 6	0,024 0 -0,019 3	0,027 9 -0,020 7	+0,030 6 -0,023 3	0,035 0 -0,026 6	0,040 0 -0,030 6
$\sigma_\theta^{(b) \max}_{\min}$	+0,004 6 -0,005 0	+0,003 9 -0,004 6	+0,003 3 -0,003 9	+0,002 9 -0,003 3	0,002 6 -0,002 6	0,002 3 -0,002 4	0,001 9 -0,002 3

Таблиця 4.2 – Значення поправочного коефіцієнта k_2 , що враховує глибину закладення анкера $l_{анк}$ за $E_k = 0,2 \times 10^4$ МПа, $\delta = 1$ см і $\delta_b = 5d_s$

Вид напруження	$5d_s$	$7,5d_s$	$10d_s$	$12,5d_s$	$15d_s$
$\tau_{rz}^{(\kappa I)}$	1,88	1,35	1	0,94	0,94
$\tau_{rz}^{(b)}$	1,85	1,25	1	0,96	0,96
$\sigma_{rz}^{(\kappa I)}$	1,41	1,12	1	0,93	0,92
$\sigma_{rz}^{(b)}$	1,88	1,42	1	0,714	0,53
$\sigma_r^{(\kappa I) \max}_{\min}$	1,42 1,48	1,09 1,08	1 1	0,95 0,95	0,95 0,95
$\sigma_r^{(b) \max}_{\min}$	2,38 3	1,32 1,58	1 1	1 1	1 1
$\sigma_\theta^{(\kappa I) \max}_{\min}$	1,35–0,033 1,61–0,030 0	1,09–0,026 6 1,14–0,021 3	1–0,024 3 1–0,018 6	0,95–0,023 3 1–0,018 6	0,95–0,023 3 1
$\sigma_\theta^{(b) \max}_{\min}$	2,1–0,013 9 4,8–0,012 6	1,29–0,003 5 1,92–0,005	1–0,006 6 1–0,002 6	1–0,006 6 0,73–0,001 9	1 0,73–0,001 9

Таблиця 4.3 – Значення поправочного коефіцієнта k_3 , що враховуює товщину клейового шару (за $l_{анк} = 10 d_s$; $l_0 = 20$ та $E_k = 0,2 \times 10^4$ МПа)

Вид напруження	18	16	14	12	10	8	6	4	2
$\tau_{rz}^{(\kappa I)}$	1,16	1,09	1,05	1,03	1	0,95	0,88	0,86	0,86
$\tau_{rz}^{(b)}$	3,17	2,66	2,10	1,16	1	0,70	0,26	0,22	0,21
$\sigma_{rz}^{(\kappa I)}$	2,94	2,28	1,63	1,25	1	0,68	0,35	0,28	0,25
$\sigma_{rz}^{(b)}$	2,60	2,50	1,76	1,30	1	0,62	0,22	0,19	0,15
$\sigma_r^{(\kappa I) \max}$	1,62	1,41	1,20	1,13	1	0,83	0,60	0,58	0,53
$\sigma_r^{(\kappa I) \min}$	2,20	1,80	1,40	1,20	1	0,84	0,70	0,69	0,68
$\sigma_r^{(b) \max}$	3,13	2,33	1,60	1,23	1	0,56	0,26	0,23	0,21
$\sigma_r^{(b) \min}$	4,58	3,46	2,16	1,56	1	0,54	0,20	0,20	0,20
$\sigma_\theta^{(\kappa I) \max}$	1,97	1,65	1,32	1,12	1	0,80	0,61	0,60	0,60
$\sigma_\theta^{(\kappa I) \min}$	2,43	2,00	1,50	1,15	1	0,88	0,69	0,68	0,68
$\sigma_\theta^{(b) \max}$	3,75	2,87	1,93	1,33	1	0,55	0,14	0,14	0,14
$\sigma_\theta^{(b) \min}$	4,53	3,33	2,13	1,50	1	0,66	0,33	0,32	0,32

Одержуємо:

$$\tau_{rz}^{(\kappa I)} = 133,74 \times 0,0513 \times 1,35 \times 1,01 \times 0,7 = 6,54 \text{ МПа};$$

$$\tau_{rz}^{(b)} = 133,74 \times 0,0233 \times 1,25 \times 1,08 \times 1,11 = 0,46 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{rz}^{(\kappa I)} = 133,74 \times 0,0058 \times 1,12 \times 1,12 \times 0,66 = 0,64 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{rz}^{(b)} = 133,74 \times 0,0040 \times 1,42 \times 1,15 \times 9,77 = 8,53 \text{ МПа};$$

$$\sigma_r^{(\kappa I) \max} = 133,74 \times 0,0190 \times 1,09 \times 1,06 \times 0,72 = 2,11 \text{ МПа};$$

$$\sigma_r^{(\kappa I) \min} = -133,74 \times 0,0230 \times 1,08 \times 1,10 \times 0,88 = -3,21 \text{ МПа};$$

$$\sigma_r^{(b) \max} = 133,74 \times 0,0059 \times 1,32 \times 1,12 \times 0,58 = 0,67 \text{ МПа};$$

$$\sigma_r^{(b) \min} = -133,74 \times 0,0066 \times 1,58 \times 1,28 \times 0,90 = -1,61 \text{ МПа};$$

$$\sigma_\theta^{(\kappa I) \max} = 133,74 \times 0,0210 \times 1,09 \times 1,06 \times 0,87 = 2,82 \text{ МПа};$$

$$\sigma_\theta^{(\kappa I) \min} = -133,74 \times 0,0176 \times 1,14 \times 1,07 \times 0,83 = -2,38 \text{ МПа};$$

$$\sigma_\theta^{(b) \max} = 133,74 \times 0,0039 \times 1,29 \times 1,16 \times 1,88 = 1,46 \text{ МПа};$$

$$\sigma_\theta^{(b) \min} = -133,74 \times 0,0046 \times 1,92 \times 1,25 \times 1,22 = -1,79 \text{ МПа}.$$

Порівнявши значення отриманих напружень із розрахунковими опорами матеріалів, що утворюють з'єднання, перевіряємо його.

Таблиця 4.4 – Значення поправочного коефіцієнта k_4 , що враховує товщину бетонної оболонки δ_b (за $l_{анк} = 10 d_s$; $l_0 = 20$ і $E_k = 0,2 \times 10^4$ МПа)

Вид напруження	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5
$\tau_{rz}^{(кл)}$	0,70	0,75	0,81	0,83	0,86	0,89	0,91	0,93	0,97	1
$\tau_{rz}^{(b)}$	0,11	0,35	0,60	0,68	0,76	0,84	0,89	0,96	1,00	1
$\sigma_{rz}^{(кл)}$	0,66	0,76	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00	1
$\sigma_{rz}^{(b)}$	9,77	7,38	5,01	4,20	3,30	2,48	2,10	1,72	1,00	1
$\sigma_r^{(кл) \max}$ \min	0,72 0,88	0,79 0,91	0,86 0,93	0,89 0,94	0,91 0,98	0,93 0,96	0,95 0,98	0,97 0,99	0,99 0,99	1 1
$\sigma_r^{(b) \max}$ \min	0,58 0,90	0,70 0,93	0,82 0,96	0,87 0,97	0,90 0,98	0,92 0,98	0,96 0,99	0,98 0,99	0,98 1,00	1 1
$\sigma_\theta^{(кл) \max}$ \min	0,87 0,83	0,90 0,88	0,92 0,92	0,94 0,94	0,95 0,95	0,96 0,96	0,98 0,97	0,98 0,98	1,00 0,99	1 1
$\sigma_\theta^{(b) \max}$ \min	1,88 1,22	1,53 1,13	1,27 1,07	1,19 1,05	1,17 1,04	1,12 1,03	1,06 1,01	1,03 1,01	1,00 1,00	1 1

Міцність на зсув і відрив на контакті клей-метал (адгезійна міцність) для акрилових клеїв $\tau_{кл} = 16$ МПа і $\sigma = 14$ МПа. Когезійна міцність акрилового клею при розтяганні $\sigma_p = 20$ МПа, стиску $\sigma_{сж} = 60$ МПа. Розрахункові характеристики бетону такі: $R_{np} = 7$ МПа і $R_p = 0,6$ МПа. Отримані напруження в клеї і бетоні нижче розрахункових. Радіальні розтягувальні напруження у бетоні перевищують R_p , але це відбувається в місці входу болта у фундамент, тому цю частину фундаменту армують для сприйняття розтягувальних напружень.

Питання для самоперевірки до розділу 4

1. Які виникають напруги і деформації в елементах анкерного клейового з'єднання?
2. Від чого залежать величини напруг і деформацій в елементах клейових анкерів?
3. Який характер розподілу напруг в елементах клейового анкера?
4. Як впливають на напружений стан з'єднання фізико-механічні властивості клеїв і бетону?
5. Як впливає геометрія анкерного з'єднання на його напружений стан?
6. Для чого необхідний розрахунок анкерного з'єднання і в чому він полягає?

5 ТЕХНОЛОГІЯ УСТАНОВКИ ФУНДАМЕНТНИХ БОЛТІВ У БЕТОНІ Й ЗАЛІЗОБЕТОНІ ТА КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ БЕЗАНКЕРНИХ З'ЄДНАНЬ

Як показав досвід анкероустановочних робіт [1–10, 17, 29–31, 35, 53, 73, 74, 77, 78, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 91, 92, 95, 97, 98, 99, 102, 105, 106], найбільш технологічними є способи кріплення устаткування до бетонних і залізобетонних конструкцій за допомогою глухих фундаментних болтів, що закладаються в готові конструкції фундаменту, підлоги та ін. До таких способів відноситься установка болтів у пробурені свердловини в готових чи існуючих бетонних або залізобетонних конструкціях на клеях (силоксановому, епоксидному, акриловому) чи на жорсткій цементно-піщаній суміші (віброзачеканка). Технологія установки болтів цими способами складається з таких основних технологічних етапів: утворення свердловин, приготування суміші, установка анкерних болтів.

5.1 Утворення свердловин у бетоні і залізобетоні

Утворення свердловин у бетоні й залізобетоні виконується механізованим інструментом, технічні характеристики якого наведені нижче. Їх здійснюють за розміткою, або через отвори під фундаментні болти у станинах попередньо вивіреного устаткування, або за допомогою кондукторної плити (рис. 5.1).

Розмітку місць установки болтів проводять:

- а) загальноприйнятими методами геодезичної розбивки, а осі устаткування та осі отворів рекомендовано намічати керном по олійній фарбі;
- б) за шаблоном (знятим з анкера-плану) з використанням його як кондуктора;
- в) шляхом попередньої установки устаткування з накернюванням місць розташування болтів через отвори у станині.

Розмітку отворів виконують у строгій відповідності з розмірами на кресленнях. Похибка розмітки отворів під болти має бути не більше 50 % величини відхилень допустимих розташувань осей фундаментних болтів.

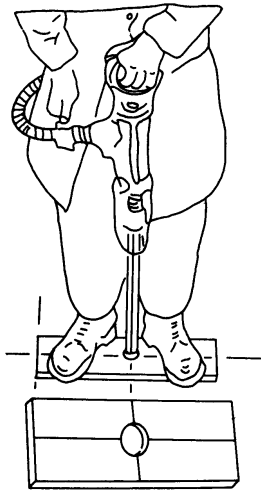


Рисунок 5.1 – Свердління з кондукторною плитою

Точність розмітки осей отворів має бути не нижче величини, обумовленої залежністю:

$$\sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} = (D - d_s) / 4, \quad (5.1)$$

де δ_x і δ_y – величини відхилень від номінальних розмірів, що координують положення осі отворів; D – діаметр отвору під болт у станині устаткування: витримування потрібних допусків при бурінні свердловин необхідне для надійної роботи анкерних болтів.

Технологія утворення свердловин повинна відповідати вимогам діючих технічних умов на провадження робіт і правил техніки безпеки.

Для буріння свердловин у бетоні й залізобетоні використовують бури, свердла з твердосплавними напайками або оснащені природними чи штучними алмазами [15, 20, 22, 30]. Промисловість випускає електро- і пневматичні дрилі, молотки й перфоратори, робочі органи яких оснащені твердосплавними пластинами, що дозволяють якісно свердлити необхідні для анкерних болтів отвори механізованим способом. Інструмент підбирають залежно від діаметра отворів, марки бетону і насиченості арматурою. Доцільно використовувати твердосплавний інструмент з ударно-поворотною дією робочого органа. Ударно-поворотне свердління завдяки великій енергії удару і малій площі контакту робочого органа з матеріалом практично можна застосовувати для пробивання отворів у конструкціях з бетону будь-якої міцності.

Найбільш широке використання для утворення отворів у бетонних і залізобетонних конструкціях знайшли ручні пневматичні перфоратори різного типу, оснащені твердосплавним інструментом (табл. 5.1). Робочим органом ручних перфораторів є коронки. Для утворення свердловин діаметром до 60 мм застосовують серійні коронки долотчастого і хрестового типу (табл. 5.2). Вид коронок поданий на рисунку 5.2. При діаметрі отвору більше 60 мм використовують спеціальні розбурювальні коронки [24]. Типи коронок вибирають так, щоб діаметр утвореного отвору перевищував діаметр закріпленого болта на 10–20 мм.

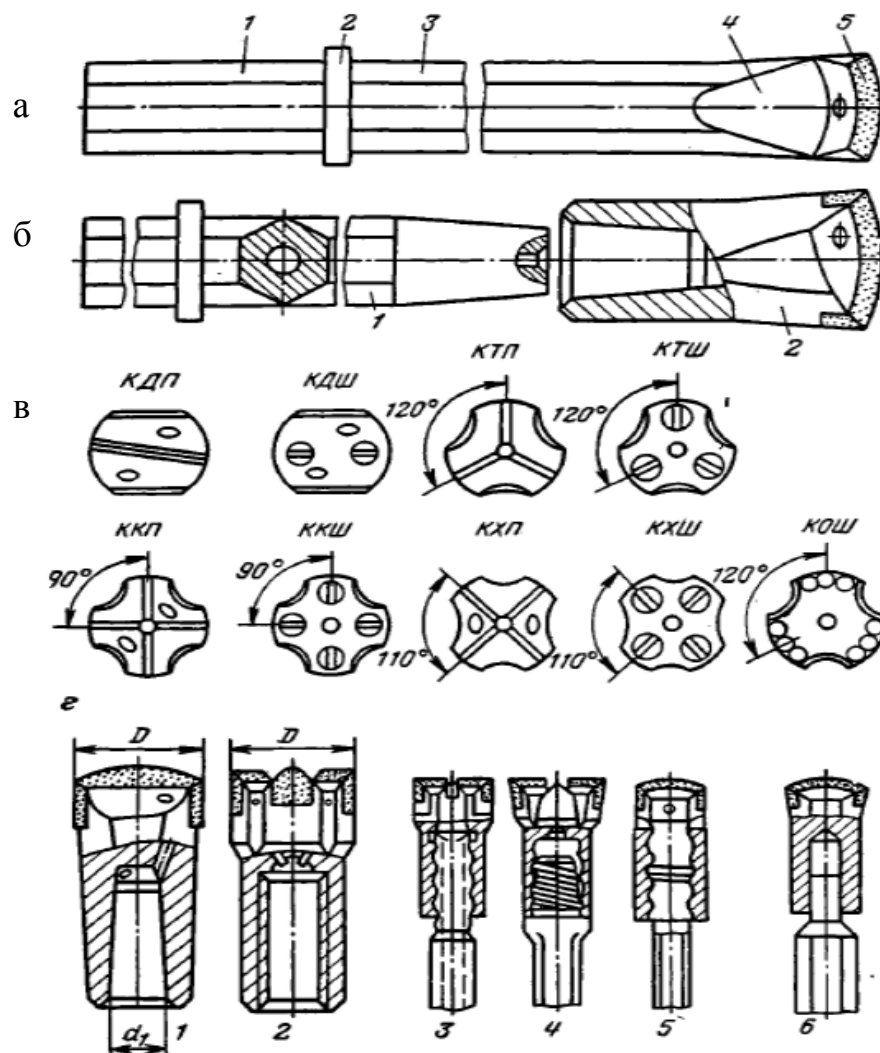


Рисунок 5.2 – Бурові коронки для пневматичних перфтораторів:
 а – долотчасті; б – хрестові; в – алмазні

Сумарна довжина пробурюваних свердловин у бетоні класів В10-В30 до повного зносу коронки залежно від її діаметра складає:

d , мм	L , м
30	80–90
40	5070
50	35–40
60	25–30

У комплект устаткування перфтораторів входять також бурові штанги, виготовлені зі спеціальної бурової шестигранної сталі. Штанги мають поздовжні отвори діаметром 9 мм для подачі промивної води чи стиснутого повітря для очищення отворів. Переріз шестигранника відповідає буксі перфторатора. Коронки зі штангами з'єднують натягом за допомогою конуса штанги, що пе-

редає крутний момент. Тому конусну частину штанг виготовляють особливо ретельно і перевіряють шаблоном [30]. Довжину штанги підбирають залежно від глибини свердловини.

Наприклад: бурова штанга БШ25-1300 для буріння з продувкою чи центральним промиванням; бурова штанга БШ25-700 для буріння з подачею води через бурову муфту-насадку. Перша цифра означає діаметр вписаного кола штанги, друга – її довжину.

В останні роки для буріння свердловин у бетоні знайшли застосування електричні перфуратори, типи яких подані в таблиці 5.4. Основним недоліком цього інструмента є труднощі видалення бурового дрібняка із свердловини.

Типи і розміри штанг наведені в таблиці 5.1.

Для свердління свердловин під конічні болти і дюбелі застосовують електро- і пневмоперфуратори чи свердлильні машини, оснащені алмазними кільцевими свердлами.

При свердлінні алмазними коронками і коронками, оснащеними твердими сплавами, необхідна подача води для охолодження в зону різання. Витрата води залежить від діаметра пробурюваної свердловини. При діаметрі свердловини від 25 мм витрата води становить 1,5 л/хв, при діаметрі більше 25 мм – до 2,5 л/хв.

Таблиця 5.1 – Бурові штанги для пневматичних перфураторів

Типи штанг	Довжина штанги, мм	Маса, кг
БШ25-700	700	2,8
БШ25-1300	1 300	5.1
БШ25-1600	1 600	6.3
БШ25-1900	1 900	7,6
БШ25-2500	2 500	9,9
БШ25-3100	3 100	12,3
БШ25-3400	3 400	13,4
БШ25-3700	3 700	14,7
БШ25-4300	4 300	17,09
Примітки: а) для всіх типів штанг розмір шестигранника – 25 мм, діаметр посадкового конуса – 25 мм, кут посадкового конуса – 7°. б) при замовленні штанг потрібно вказувати спосіб очищення свердловин і довжину штанги.		

Таблиця 5.2 – Електричні перфоратори для буріння свердловин у бетоні

Тип перфоратора	Діаметр свердловин		Спосіб видалення бурового дрібняка		Маса, кг	Завод – виготовлювач
	до 30 мм	30-60 мм	стиснуте повітря	промивання водою		
1	2	3	4	5	6	7
ИЕ-4709, ИЕ-4712	+		Примусове видалення бурового дрібняка		7,0 10,0	м.Даугавпилс «Електроінструмент»
ИЕ-4707		до 40	+		10,5	-"-
UBH 2/20 RLF	+	-	Примусове видалення бурового дрібняка		2,3	BOSCH
UBH 2/20 SE	+	-	Те саме		2,3	BOSCH
UBH 2/24 SE	+	-	– » –		3,5	BOSCH
UBH 2/26 SE	+	-	– » –		4,3	BOSCH
UBH 2/26- 2BS	+	+	– » –		4,5	BOSCH
GBH 5/4 DCE	+	+	– » –		5,9	BOSCH
GBH 8/65DCE	+	+	– » –		8,0	BOSCH
GBH 7/45 DE	+	+	– » –		7,5	BOSCH
UBH 12/50	+	+	Примусове видалення бурового дрібняка		12,5	BOSCH
MBH-20	+	-	Те саме		2,2	HAMMERS
MBH-23	+	-	– » –		2,3	HAMMERS
MBH-24	+	-	– » –		2,3	HAMMERS
MBH-25	+	-	– » –		3,0	HAMMERS
MBH-26	+	-	– » –		3,0	HAMMERS
BH-40K	+	+	– » –		5,8	HAMMERS
BH-40TK	+	+	– » –		5,8	HAMMERS
BH-45TK	+	+	– » –		6,2	HAMMERS/ BREAKER

Діаметр свердловини для прямих болтів на синтетичних клеях (епоксидному, силіконовому чи акриловому) має бути на 6–16 мм більше діаметра болта, а діаметр свердловин для прямих болтів, що закріплюються за допомогою цементно-піщаної суміші способом віброзачеканки, визначається розмірами ущільнювального пристрою.

Для конічних болтів, які закріплюються за допомогою розтискної цанги, діаметри свердловин і їхні допустимі відхилення розмірів приймають за таблицею 5.3.

Діаметр свердловин для конічних болтів, що закріплюються цементно-піщаним розчином методом віброзанурення, визначається діаметром $D_{кор}$ для свердління свердловин і приймається відповідно до таблиці 5.4.

Розміри колодязів для вигнутих болтів повинні прийматися відповідно до таблиці 5.5.

Відстань від грані колодязя до зовнішньої грані фундаменту має бути не менше 50 мм для болтів діаметром від 12 мм до 24 мм і 100 мм – для болтів діаметром від 30 мм до 48 мм.

Допускається виготовлення круглих колодязів шляхом їхнього висвердлювання в готових фундаментах алмазними інструментами. Діаметр колодязя має дорівнювати розміру B .

Під дюбелі діаметри свердловин визначаються розмірами свердлильного (різального) інструмента, що приймається за зовнішнім діаметром конструктивних елементів болта.

Таблиця 5.3 – Допустимі відхилення свердловин для конічних болтів, які закріплюються за допомогою розтискної цанги

Діаметр болта, мм	12	16	20	24	30	36	42	48
Діаметр свердловини, мм	16	22	28	32	40	50	60	68
Допустимі відхилення, мм	+1		+1,5			+2		

Таблиця 5.4 – Діаметр свердловин для конічних болтів, що закріплюються цементно-піщаним розчином

Діаметр болта, мм	12	16	20	24	30	36	42	48
Діаметр коронки $D_{кор}$ (діаметр свердловини), мм	30	30	40	43	52	60	70	80

Перед початком буріння перевіряють робочий стан інструмента і перфратора, цілісність твердосплавних пластин коронок, конусної і хвостової частин штанги, чистоту продувного (промивного) отвору, правильність загострення коронки.

Таблиця 5.5 – Розміри колодязів для вигнутих болтів

Ескіз колодязя	Діаметр болта, мм	Розміри колодязя, мм	
		<i>У</i>	<i>L</i>
	12	100	300
	16		400
	20	150	500
	24		600
	30	200	750
	36		900
	42	250	1 050
	48		1 200

Після підготовки і перевірки інструмента розпочинають буріння свердловин у бетоні й залізобетоні. Для забезпечення необхідної точності розташування свердловин на фундаменті в процесі буріння використовують інвентарні кондукторні пристрої, а також установочні пристрої для буріння отворів діаметром більше 60 мм [15, 24]. При влученні в переріз пробурюваного отвору елементів захисної арматури їх перерізають різакми будь-якого типу. Перерізання елементів арматури глибокого залягання (більше 40 мм) виконують за допомогою електрозварювальних апаратів із наступним видуванням продуктів плавлення і добурюванням отвору на задану глибину.

Сьогодні розроблені й серійно випускаються кільцеві пустотілі свердла з коронкою зі штучних чи природних алмазів, а також інструмент для їхнього використання. Перевагою таких сверدلів є можливість свердління залізобетону, висока точність отворів за діаметром. Для свердління алмазними свердлами потрібні мінімальні зусилля і потужність обертального механізму. Крім того, за такого свердління в зоні отвору і по всій його висоті не утворюються мікротріщини. Алмазне свердло легко перерізає арматуру будь-якого діаметра. Це також велика перевага алмазних сверدل перед твердосплавним інструментом. Свердлення отворів у бетоні діаметром 60 мм алмазними свердлами більш економічне порівняно з цим інструментом.

5.2 Приготування сумішей і клеїв

5.2.1 Приготування епоксидного клею

До складу епоксидного клею, як вказано в розділі 2.1, входять смола епоксидна ЕД-16 чи ЕД-20, поліетиленполіамін (затверджувач), дибутилфталат (пластифікатор) і кварцовий пісок (наповнювач) [4, 5, 71, 77, 81].

Компоненти клею повинні мати заводські паспорти і зберігатися в сухому приміщенні, спеціально призначеному для зберігання вогнебезпечних матеріалів за температури від 0 °С до 20 °С.

Епоксидна смола, застосовувана для приготування клею, повинна мати вік не більше року. Поліетиленполіамін зберігають у герметично закритому скляному посуді не більше 6 місяців. Не допускається його зберігання на сонячному світлі і разом із кислотами. Пластифікатор (дибутилфталат) також повинен зберігатися в герметичній упаковці. Кварцовий пісок, застосовуваний для приготування епоксидного клею, повинен бути добре висушений і мати зерна крупністю 0,50–0,35 мм.

До приготування епоксидного клею смоли ЕД-16 чи ЕД-20 завчасно пластифікують. Для цього наважку смоли (20–30 кг) розігрівають у водяній бані до температури 70 °С, потім вводять у неї пластифікатор ДБФ або МГФ-9 і ретельно перемішують 10°С 15 хв до зникнення повітряних пухирців. Після цього пластифіковану смолу охолоджують до температури навколишнього середовища.

Приготування клею рекомендується проводити під час масового установа болтів порціями по 5–7 кг у такій послідовності.

Необхідну кількість пластифікованої смоли, затверджувача і кварцового піску відважують в окремі ємкості. Потім у пластиківану смолу вводять затверджувач (ПЕПА) і суміш перемішують 5 хв, після чого вводять пісок і продовжують перемішування ще 5 хвилин.

Якість перемішування смоли із затверджувачем визначають одержанням одноколірної рідини, що видно за стікання її з піднятого шпателя.

До приготування епоксидного клею смоли пластифікують. Для цього наважку смоли (10–15 кг) розігрівають у водяній бані до температури 60–80 °С, після чого вводять у розігріту смолу пластифікатор (дибутилфталат-ДБФ) з розрахунку 20 мас-частин на 100 вагових частин ЕД-20. Суміш добре перемішують протягом 10–13 хв доти, поки зникнуть повітряні пухирці. Після цього пластифіковану смолу охолоджують до температури навколишнього се-

редовища. За температури навколишнього середовища вище 15 °С для приготування епоксидного клею в окремій ємкості відважують необхідну кількість смоли, затверджувача і кварцового піску. Потім у клеємешалці-змішувачі (типу СЛ-10, СЛ-2) пластифіковану смолу перемішують із затверджувачем протягом 5 хвилин. Після цього в компаунд вводять пісок і продовжують перемішування ще 5 хвилин.

У випадку приготування клею вручну компоненти змішують в аналогічній послідовності в посудині типу «листа» для того, щоб забезпечити відведення тепла, виділеного при екзотермічному процесі полімеризації епоксидного клею. Ступінь готовності суміші пластифікованої смоли із затверджувачем визначають за однаковим кольором рідини, що стікає з піднятого шпателя. Ступінь готовності клею, після введення наповнювача – кварцового піску, встановлюють візуально за рівномірним розподілом зерен піску в обсязі клею.

Готуючи епоксидний клей за температури навколишнього середовища від +16 °С до -20 °С, підігріваємо пластифіковану смолу у водяній бані до температури 30–40 °С і піску до 40 °С. Після цього вводимо затверджувач і заповнювач.

У процесі приготування епоксидного клею необхідно контролювати температуру розігріву, оскільки за перевищення 60 °С відбувається різке скорочення часу технологічної життєздатності клею. Технологічна життєздатність епоксидного клею складає 60 –65 хвилин.

Приклад розрахунку вагової дози епоксидного клею

Умови: потрібно встановити 20 фундаментних болтів діаметром 20 мм з глибиною закладання $10d_s$.

Необхідну кількість клею в грамах визначаємо за формулою:

$$P = \pi l_{\text{анк}} / 4 (d_c^2 - d_s^2) N \gamma,$$

де $l_{\text{анк}}$ – глибина свердловини, см; d_c – діаметр свердловини, см; d_s – діаметр болта, см; N – кількість болтів, шт; γ – густина клею (2 г/см³):

$$P = 3,14 \times 20 / 4 (3^2 - 2^2) \times 20 \times 2 = 3149 \text{ г.}$$

Визначаємо кількість складових епоксидного клею:

а) склад клею:

ЕД-16.....100 вагових доз
ДБФ.....20 вагових доз

ПЕПА.....	15 вагових доз
Пісок.....	200 вагових доз
РАЗОМ.....	335 вагових доз

б) вага однієї вагової дози:

$$q = P / 335 = 3149 / 335 = 9,4 \text{ г};$$

в) вага складових:

ЕД-16+ДБФ.....	$120 \times 9,4 = 1128 \text{ г}$
ПЕПА.....	$15 \times 9,4 = 141 \text{ г}$
Пісок.....	$200 \times 9,4 = 1880 \text{ г}$.

5.2.2 Приготування силоксанового клею

До складу силоксанового клею, як вказувалося раніше, входять: скло натрієве рідке, пісок будівельний, натрій кремнефтористий технічний, калій їдкий технічний, доменний гранульований шлак із модулем основності вище одиниці, пудра алюмінієва [59].

Клей виготовляють шляхом перемішування сухої меленої суміші, кварцового природного піску і рідкого скла в розчиномішалці (типу СБ-49) чи вручну. До складу сухої меленої суміші входять: доменний гранульований шлак, кварцовий пісок, кремнефтористий натрій, алюмінієва пудра. Помел сухої суміші готують у кульових млинах періодичної дії до питомої поверхні 5 000-7 000 см²/м або до залишку на ситі 5 200 отв/см² – 1 %.

Питому поверхню суміші можна визначати на приладі ПСХ-2. Суха мелена суміш у період зберігання і при транспортуванні повинна знаходитися в закритій тарі, що охороняє її від зволоження і забруднення.

Рідке скло застосовують з модулем 1,8–2,0. Для цього в рідке скло товарного постачання з модулем 2,8–3,0 вводять їдкий калій у твердому вигляді в кількості 70 м на 1 кг рідкого скла і ретельно перемішують до повного розчинення.

Клей готують у такий спосіб. У розчиномішалку заливають рідке скло, додають 50 % сухої меленої суміші і перемішують протягом 2-х хвилин. Потім вводять іншу кількість сухої суміші і кварцовий пісок і перемішують протягом 7 хвилин. Загальний час приготування силоксанового клею в розчиномішалці складає до 10 хвилин. Консистенцію клею контролюють за величиною розпливу клею на склі, що витікає з порожнього циліндра діаметром 5 і висотою 5 см. Діаметр розпливу повинен складати 10–12 см.

Технологічна життєздатність силоксанового клею дорівнює 1,5–2 год.

Приклад розрахунку вагової дози силікоханового клею

Умови: потрібно встановити 20 фундаментних болтів діаметром 20 мм із глибиною закладання $10d_s$.

$$P = 3,14 \times 20 / 4 (3^2 - 2^2) \times 20 \times 2,1 = 3297 \text{ г.}$$

Рідке скло, 30 % – 990 г

Природний кварцовий пісок, 25 % – 822 г

Суша суміш (45 %) містить:

шлак, 13 %460 г

пісок кварцовий, 19 %.....565 г

кремнефторисний натрій, 13 %.....460 г

алюмінієва пудра, 0,01 %.....15 г

Величина замісу клею і кількість встановлюваних болтів залежно від їхнього діаметра наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Залежність величини замісу силікоханового клею від діаметра анкерних болтів

Діаметр болтів, мм	12	20	24	30	36	42	48	56	64	76	90	100
Величина замісу клею, кг	4,2	4,4	4,2	4,7	5	6,3	5,5	4,5	4,2	4	2,7	3,3
Кількість встановлених болтів, шт.	40	27	19	14	12	10	7	5	3	2	1	1

Примітка. Таблиця складена з розрахунку технологічної життєздатності клею – 90 хв і глибини закладання болтів $l_{анк} = 10d_s$.

5.2.3 Приготування акрилового клею

Для приготування акрилового клею застосовують пластмасу АСТ-Т, що випускається у вигляді комплекту, який містить рівні кількості порошку й рідини АСТ-Т і упаковується: порошок у поліетиленових пакетах по 4,5; 5,0; 9,0; 10,0 і 18,0 кг, а рідина в поліетиленових посудинах по 4,5; 5,0; 9,0; 10,0; 45,0; 50,0 кг, закритих пробками. Компоненти АСТ-Т (порошок і рідина) збе-

рігаються в місцях, захищених від впливу прямих сонячних променів і атмосферних опадів за температури не вище 25 °С.

Для підвищення адгезійної міцності акрилового клею рекомендується використовувати домішки окису цинку і метакрилової кислоти. Застосування домішок дозволяє підвищити адгезійну міцність з'єднання до 30 % і зменшити глибину закладання в бетон анкерних болтів.

Приготування акрилового клею рекомендується проводити в такій послідовності. Необхідну кількість порошку АСТ-Т, рідини АСТ-Т і кварцового піску відважують в окремі ємкості.

Змішування компонентів можливе вручну або в розчиномішалках.

Вручну рекомендується виготовляти заміси в 5–8 кг.

Під час ручного приготуванні суміші в ємкість заливають рідину і додають порошок. Потім здійснюють періодичне перемішування металевую чи дерев'яною лопаткою до набрякання порошку в рідині, після чого вводять наповнювач – кварцовий пісок і домішки, ретельно перемішані з піском. Усю цю масу безупинно перемішують.

Момент набрякання порошку в рідині визначається одержанням одноколірної сметаноподібної рідини. Час перемішування акрилового клею після введення наповнювача складає 3–5 хв до досягнення рівномірного розподілу зерен піску в обсязі клею.

Під час механічного приготування клею в розчиномішалці послідовність операцій аналогічна. Однак процес набрякання порошку в рідині повинен супроводжуватися короткочасним включенням розчиномішалки протягом 20–25 с через 3–5 хвилин.

Орієнтований час набрякання порошку в рідині АСТ-Т становить за температури навколишнього середовища від 15 °С до 25 °С близько 15 хвилин.

Час затвердіння акрилового клею складає за температури середовища:

від 0 °С до 10 °С – до 24 год,

від 11 °С до 15 °С – до 12 год,

від 16 °С до 20 °С – до 10 год,

від 21 °С і вище – до 6 год.

Приклади розрахунку вагової частки акрилового клею

Умови: Потрібно встановити 20 випусків арматури діаметром 20 мм з глибиною закладання $l_{\text{анк}} = 20d_s$.

Споживану кількість клею (в г) визначаємо за формулою:

$$P = \frac{\pi H}{4} (d_c^2 - d_s^2) \cdot N \gamma,$$

де H – глибина свердловини, см; d – діаметр свердловини, см; d_s – діаметр арматури, см; N – кількість арматури, шт; γ – об'ємна вага клею (2 г/см³).

$$m = \frac{3,14 \times 40 \times (3^2 - 2^2) \times 20 \div 2}{4} = 6280 \text{ г.}$$

Склад клею: Порошок АСТ-Т100 м.ч.,
 Рідина АСТ-Т.....100 м.ч.,
 Пісок.....400 м.ч.
 Вагових частин.....600 м.ч.

Вага однієї вагової частини

$$q = \frac{m}{600} = \frac{6280}{600} = 10,5 \text{ г.}$$

Вага складових

Порошок АСТ-Т.....100 × 10,5 = 1 050 г,
 Рідина АСТ-Т.....100 × 10,5 = 1 050 г,
 Пісок400 × 10,5 = 4 200 г.

Склад клею: Порошок АСТ-Т.....100 м. ч.,
 Рідина АСТ-Т.....100 м. ч.,
 Пісок.....150 м. ч.,
 Zn.....6 м. ч.
 Вагових частин.....356 м. ч.

Вага однієї вагової частини

$$q = \frac{m}{356} = \frac{6280}{356} = 17,6 \text{ г.}$$

Вага складових:

Порошок АСТ-Т.....100 × 17,6 = 1 760 г,
 Рідина АСТ-Т.....100 × 17,6 = 1 760 г,
 Пісок150 × 17,6 = 2 640 г,
 Zn.....6 × 17,6 = 106 г.

5.2.4 Приготування жорсткої цементно-піщаної суміші

Для приготування жорсткої цементно-піщаної суміші необхідно застосувати матеріали, подані в таблиці 2.4.

Водяні розчини вуглекислого калію і сірчаноокислого алюмінію готують роздільно на воді, що підігрівають до температури 40–50 °С. Обидва водяних розчини можна з'єднувати разом тільки після повного розчинення відповідних компонентів. Готують водяні розчини не менше ніж за добу до вживання. Перед використанням їх ретельно перемішують.

Технологія приготування цементно-піщаної суміші без домішок розчинів вуглекислого калію і сірчаноокислого алюмінію така: з окремих ємкостей дозовані цемент і пісок засипають у змішувач типу ЛБ-2 і перемішують протягом 2–3 хвилин. Після цього додають необхідну кількість води для затвору. Час перемішування до одержання однорідної вологої суміші складає 3–5 хвилин. Після цього суміш готова до вживання.

Технологія приготування суміші з двокомпонентною домішкою розчинів вуглекислого калію і сірчаноокислого алюмінію така. Зважені компоненти суміші засипають у змішувач типу ЛБ-2 і перемішують протягом 2–3 хвилин. Після цього в суміш додають водяний розчин вуглекислого калію і сірчаноокислого алюмінію і перемішування продовжують протягом 5 хвилин. Змішувач зупиняють і перемішану суміш витримують у ній протягом 6–40 хвилин. Потім виконують повторне перемішування суміші (так зване «омолодження») протягом 3 хвилин. Після цього суміш готова до вживання.

Приклад розрахунку вагової дози суміші

Умова: Потрібно встановити 20 фундаментних болтів діаметром 20 мм у свердловини діаметром 40 мм на глибину 200 мм.

Необхідну кількість суміші (в г) визначають за формулою:

$$P = 2,5(d_c^2 - d_s^2)NH,$$

де d_c – діаметр свердловини, см; d_s – діаметр болта, см; N – кількість болтів, шт; H – глибина свердловини, см; 2,5 – коефіцієнт, що враховує площу поперечного перерізу болта, густина суміші і її втрати в роботі:

$$P = 2,5 \times (4^2 - 2^2) \times 20 \times 20 = 12000 \text{ г.}$$

Визначення вагових доз складових суміші:

за додатної температури:

Портландцемент100 вагових доз

Пісок	100 вагових доз
Вода	<u>10 вагових доз</u>
Разом	210 вагових доз.

за негативної температури:

Портландцемент	100 вагових доз
Пісок	100 вагових доз
Вода	10 вагових доз
Поташ	10 вагових доз
Сірчаноокислий алюміній	<u>1 вагова доза</u>
Разом	221 вагових доз.

Маса однієї вагової дози:

$$q = P / 210 = 12000 / 210 = 57,2 \text{ г};$$

Маса складових:

Портландцемент	$100 \times 57,2 = 5720 \text{ г}$
Пісок	$100 \times 57,2 = 5720 \text{ г}$
Вода	$10 \times 57,2 = 572 \text{ г}$
Разом	12000 г.

$$q = P / 221 = 12000 / 221 = 54 \text{ г.}$$

Портландцемент	$100 \times 54,4 = 5440 \text{ г}$
Пісок	$100 \times 54,4 = 5440 \text{ г}$
Вода	$10 \times 54,4 = 544 \text{ г}$
Поташ	$10 \times 54,4 = 544 \text{ г}$
Сірчаноокислий алюміній	$1 \times 54,4 = 54,4 \text{ г}$
Разом	12000 г.

5.3 Установка болтів

5.3.1 Установка болтів до бетонування фундаментів

Болти першої групи, вигнуті й з анкерними плитами, а також анкерна арматура знімних болтів, повинні встановлюватися у фундамент до бетонування на спеціальних кондукторах, що строго фіксують і забезпечують проєктне положення болтів і анкерної арматури під час бетонування.

У цих випадках рекомендується застосовувати знімні кондуктори і поєднувати болти в блоки, а також використовувати плазово-блочні методи установки болтів та інші заходи, спрямовані на зниження витрати металу і підвищення точності установки.

За розташування вигнутих болтів біля краю фундаменту відігнутий кінець болта необхідно орієнтувати вбік масиву, а за розташування в кутах – по їхній бісектрисі.

Нижні кінці болтів, розташовані в місцях порожнеч фундаментів (прорізів, тунелів та ін.), допускається виконувати вигнутими, а кут вигину болтів до вертикалі повинен складати не більше 45° , а довжина прямої ділянки на початку закладання $l_{анк}$ приймається не менше $0,5l_{анк}$.

При установці складених болтів нижня шпилька разом із муфтою і анкерною плитою встановлюється до бетонування фундаменту, а верхня шпилька ввертається в муфту і прихоплюється зварюванням після установки устаткування, що монтується методом повороту чи переміщення.

5.3.2 Установка болтів в існуючі бетонні й залізобетонні конструкції

Після буріння свердловин виконують підготовку поверхонь бетону й анкерних болтів до установки.

5.3.2.1 Підготовка поверхні бетону свердловин і анкерних болтів

Підготовка поверхні свердловини до установки болтів полягає в інструментальній перевірці глибини й у візуальній перевірці відсутності в ній сторонніх включень, води, наледі. За необхідності проводять додаткове очищення свердловини продуванням або механічним шляхом (йоршем, металевою щіткою).

Поверхня болтів не повинна мати слідів корозії і масляних включень. Підготовка поверхні болта складається з попередньої механічної та остаточної хімічної обробки. Попередню (механічну) обробку болта виконують з метою видалення консервуючих покриттів у вигляді жирового змащення, паперу і т.п. Очищення здійснюють щітками, шкребками, наждаковим папером і т.п.

Остаточну (хімічну) обробку болтів виконують в 20 %-ному розчині соляної кислоти, у який додають 1 % (за обсягом розчину) уротропіну (ДСТ 1381).

Травлення поверхні фундаментних болтів рекомендується робити в зоні їхньої установки протягом 2–4 год.

Безпосередньо перед установкою болти виймають з розчину соляної кислоти, а потім протирають дрантям, змоченим в ацетоні (ДСТ 2768).

5.3.2.2 Установка розклинних анкерних болтів

Конструкції і розміри розклинних анкерів наведені на рисунках 5.3 і 5.4 і в таблицях 5.6–5.8.

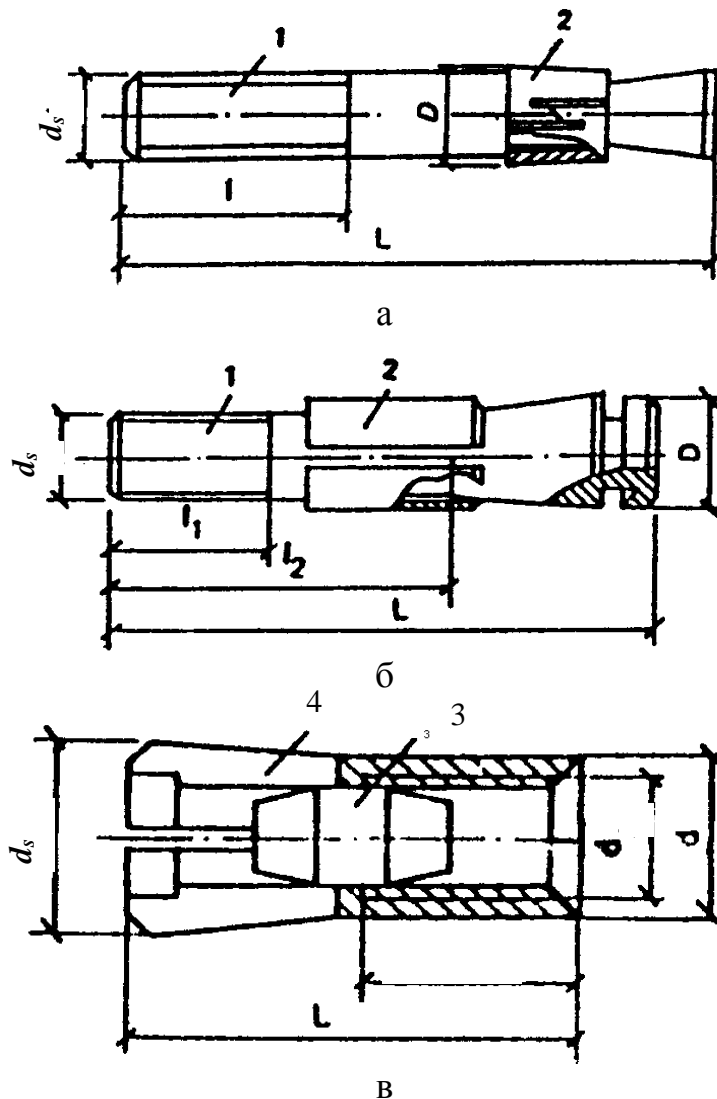


Рисунок 5.3 – Розклинний анкер: а – тип 1; б – тип 2; в – тип 3; 1 – розклинна шпилька; 2 – розтискна цанга; 3 – розтискна пробка; 4 – розклинна втулка

Розпирні болти з розтискною цангою закріплюють у свердловинах за допомогою знімних інвентарних трубок, що слугують для розпору цанг (рис. 5.4). Після закріплення болта в свердловині трубку знімають. Витяжка болта при його закріпленні не повинна перевищувати $1,5d_s$.

За наявності виробничого агресивного середовища (масляного, кислотного та ін.), а також при закріпленні устаткування з динамічними впливами, свердловини для конічних болтів із розтискною цангою потрібно залити цементним розчином після попереднього затягування болтів.

Установка інших типів розклинних болтів (рис. 5.3) здійснюється за допомогою осаджування їх у пробурені свердловини і наступного забивання металевих розтискних пробок за допомогою спеціальних оправок.

Таблиця 5.7 – Розклинний анкер (тип 1)

Умовне позначення	Розмір, мм				Маса, кг	Розрахункове навантаження, кН
	d_s	D	l	L		
ДШР 2-М8	М8	8,5	35	70	0,025	5 (2)
ДШР 2-М10	М10	10,5	45	80	0,049	8 (3,3)
ДШР 2-М12	М12	12,6	50	90	0,08	12 (5)
ДШР 2-М16	М16	16,6	65	120	0,188	22 (9)
ДШР 2-М20	М20	21	80	150	0,356	35 (15)
ДШР 2-М24	М24	25	95	175	0,61	59 (20)

Призначення: закріплення устаткування і металоконструкцій на будівельних елементах з бетону і цегли.
Матеріал: розклинна шпилька – сталь марки ВСт3, ДСТ 380; розтискна цанга – сталь марки 20, ДСТ 1050.
Примітка. Розрахункові навантаження наведені для елементів з бетону класу В12,5 і вище, у дужках – для елементів із цегли не нижче М75.

Таблиця 5.8 – Розклинний анкер (тип 2)

Умовне позначення	Розмір, мм					Маса, кг	Розрахункове навантаження, кН
	d_s	D	l_1	l_2	L		
ДШП 2-М8	М8	10	35	50	70	0,028	5
ДШП 2-М10	М10	12	45	65	85	0,052	8
ДШП 2-М12	М12	15	50	70	100	0,089	12
ДШП 2-М16	М16	20	65	90	130	0,204	22
ДШП 2-М20	М20	24	80	110	160	0,392	35
ДШП 2-М24	М24	30	95	130	190	0,672	50

Призначення: закріплення устаткування і металоконструкцій на будівельних елементах із бетону.
Матеріал: розклинна шпилька – сталь марки ВСт3, ДСТ 380; розтискна цанга – сталь марки 20, ДСТ 1050.

Таблиця 5.9 – Розклинний анкер (тип 2)

Умовне позначення	Розмір, мм					Маса, кг	Розрахункове навантаження, кН
	d_s	D	l_1	l_2	L		
ДВР – М6	М6	8	9,3	30	12	0,007	3
ДВР – М8	М8	10	11,5	35	16	0,014	5
ДВР – М10	М10	12	13,8	45	20	0,025	8
ДВР – М12	М12	15	16,8	55	24	0,048	12
ДВР – М16	М16	20	22	65	32	0,098	22
ДВР – М20	М20	25	27,3	80	40	0,195	35

Призначення: закріплення устаткування і металоконструкцій на будівельних елементах з бетону.

Матеріал: розпірна втулка – сталь марки 20 ДСТ 1050; розтискна пробка – сталь марки 45 ДСТ 1050.

Покриття: розпірна втулка – хімічне оксидування, розтискна пробка – без покриття

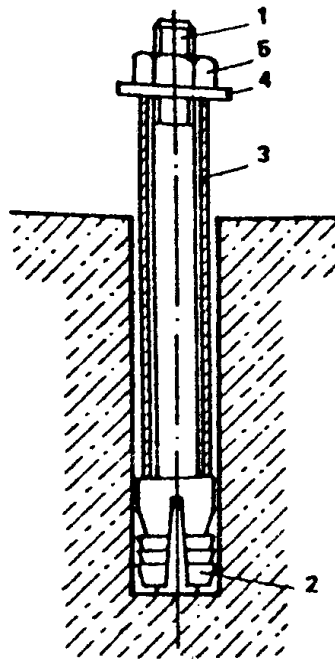


Рисунок 5.4 – Установка розпірного болта з розтискною цангою за допомогою знімної інвентарної монтажної трубки: 1 – конічна шпилька; 2 – розтискна цанга; 3 – інвентарна монтажна трубка; 4 – шайба; 5 – гайка

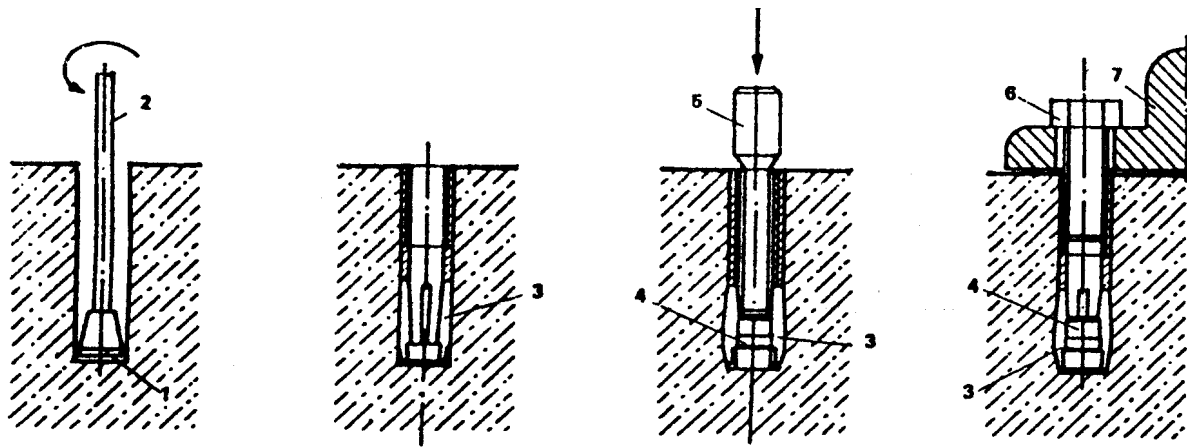


Рисунок 5.5 – Технологічна схема установки розклинних анкерних болтів: 1 – коронка бурова; 2 – штанга бурова; 3 – розпірна втулка; 4 – розтискна пробка; 5 – оправка; 6 – кріпильний болт; 7 – устаткування

Технологічна схема установки розпірних дюбелів-втулок наведена на рисунку 5.5.

5.3.2.3 Установка конічних анкерних болтів

Установка і закріплення конічних болтів (див. рис. 1.13, а) цементно-піщаною сумішшю здійснюється шляхом віброзанурення болтів у свердловини, заповнені розчином на 2/3 їхньої глибини.

Віброзанурення болтів зазвичай здійснюється тими саме інструментами, якими свердлять свердловини з застосуванням, у разі потреби, перехідних пристроїв (затисків), або за допомогою інших свердлильних інструментів, що створюють поступально-обертальний рух.

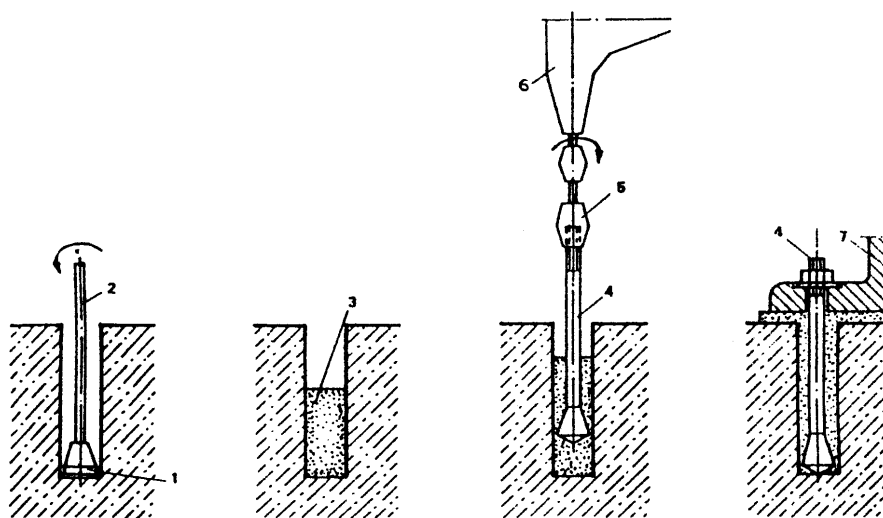


Рисунок 5.6 – Технологічна схема установки болтів способом віброзанурення: 1 – коронка бурова; 2 – штанга бурова; 3 – цементно-піщана суміш; 4 – болт; 5 – перехідник; 6 – віброзанурювач; 7 – устаткування

Для забезпечення проєктного положення болтів до схоплювання розчину у верхній частині свердловини установлюють фіксатори з дротових кілець, клинів та ін.

Технологічна схема установки болтів способом віброзанурення наведена на рисунку 5.6.

5.3.2.4 Установка анкерних болтів на жорстких цементно-піщаних сумішах

Анкерні болти на жорстких цементно-піщаних сумішах установлюють за температури навколишнього середовища не нижче $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ за допомогою ущільнювального пристрою і жорстко приєднаного до нього вібратора спрямованої дії. Використовують вібратор загального призначення типу ИВ-21-А з напругою струму 36 В, який приєднують до маятникової опори від вібратора спрямованої дії типу ВЕРБ-74. Такий вібратор забезпечує необхідний питомий тиск торця ущільнювального пристрою на суміш (не нижче 8,5 МПа). Тип ущільнювача вибирають залежно від діаметра анкера [28, 30, 31].

Установка болтів на жорстких цементно-піщаних сумішах (метод віброзачеканки) здійснюється за технологічною схемою, поданою на рисунку 5.8. Складається вона з таких операцій:

- установка болта в отвір;
- попереднє засипання невеликої порції суміші в зазор між тілом болта і стінкою отвору;
- надягання на болт віброущільнювача з вібратором;
- включення вібратора;
- засипання суміші в дозатор ущільнювача;
- періодичне повертання віброущільнювача на 20° – 30° .

Досипання суміші в дозатор виконують у міру її витрати до виходу ущільнювача з отвору.

Критерієм якісного ущільнення суміші слугує мимовільний підйом віброущільнювача на поверхню. Передачу навантаження на встановлені болти, витримані за температури навколишнього середовища $18\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$, потрібно виконувати через 8 діб, а у випадку витримування за температури в межах $5\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – через 10 діб.

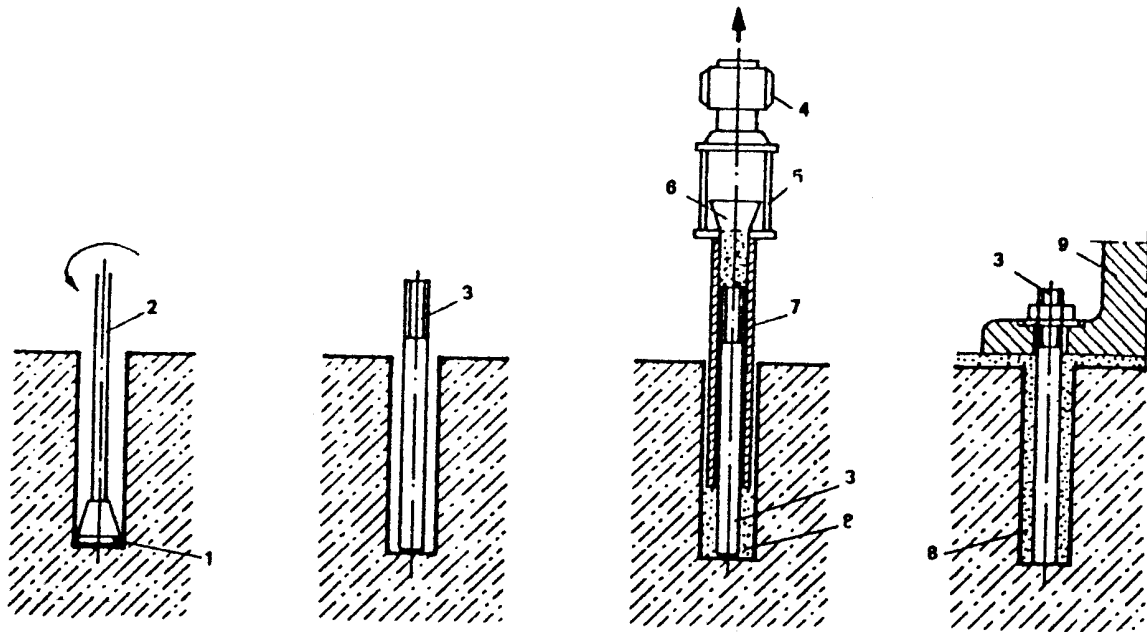


Рисунок 5.7 – Технологічна схема установки болтів способом віброзачеканки: 1 – коронка бурова; 2 – штанга бурова; 3 – болт; 4 – вібратор; 5 – подовжувач; 6 – лійка; 7 – ущільнювач; 8 – цементно-піщана суміш; 9 – устаткування

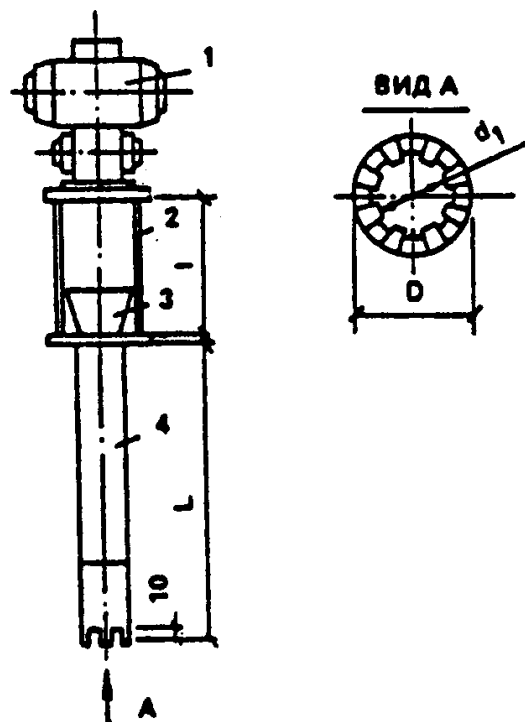


Рисунок 5.8 – Ущільнювальний пристрій:
 1 – вібратор; 2 – подовжувач; 3 – лійка; 4 – ущільнювач;
 L – виконується за максимальною висотою болта

Допускається при строгому дотриманні правил електробезпеки використання вібратора спрямованої дії ВЕРБ-74 з напругою струму 220/380 В. Для закріплення болтів діаметром 48 –100 мм може бути використаний вібратор типу ВЕРБ-38А (220/380 В).

Збуджуючу частину вібратора Q вибирають так, щоб забезпечити питомий тиск торця ущільнювального пристрою на суміш q не нижче 8,5 МПа за формулою:

$$q = \frac{Q}{A} \geq 8,5 \text{ МПа},$$

де Q – збуджуюча сила вібратора; A – сумарна площа виступів на торці ущільнювального пристрою.

Установку болтів способом віброзачеканки за температури навколишнього середовища нижче -20 °С робити не рекомендується.

Роботи з установки болтів виконують безпосередньо після приготування цементно-піщаної суміші і підготовки поверхонь свердловини і болта.

Схема ущільнювального пристрою зображена на рисунку 5.8. У таблиці 5.10 наведені розміри свердловин для болтів, закріплюваних способом віброзачеканки.

Таблиця 5.10 – Розміри свердловин для болтів, що закріплюються способом віброзачеканки

D , мм	d_1 , мм	L , мм		Для яких болтів застосовується
		обладнання	колони	
25	13	150	-	М10, М12
30	17	180	-	М16
40	21	220	-	М20
50	31	320	620	М24, М30
66	43	450	850	М36, М42
68	50	500	980	М48
76	58	580	1140	М56
85	66	660	1300	М64
102	73	740	1460	М72 × 6
108	84	820	1620	М80 × 6
115	104	1020	2020	М90 × 6, М100 × 6

5.3.2.5 Установка анкерних болтів за допомогою силоксанових клеїв

Її виконують за 1 і 2 технологічними схемами (див. рис. 5.9) за температури навколишнього середовища не нижче 5 °С. У неї входять такі операції:

- установка нижнього кільця, що центрує, у свердловину;
- заливання в свердловину необхідної (розрахункової) кількості клею;
- повільне занурення в клей анкерного болта з фіксацією його в нижньому кільці;

- установка верхнього кільця, що центрує, (врівень із поверхнею бетону фундаменту). Центруючі кільця виготовляють із дроту-катанки з внутрішнім діаметром на 1–2 мм більше діаметра болта і зовнішнім діаметром на 1–2 мм менше діаметра свердловини. Передача навантаження на болти при їхній установці за температури навколишнього середовища 15 °С і вище передається через 8 діб, а за температури 5 °С і вище – через 7 діб.

5.3.2.6 Установка анкерних болтів за допомогою епоксидних клеїв

Установку анкерних болтів за допомогою епоксидних клеїв здійснюють за 1 і 2 технологічними схемами (див. рис. 5.9) за температури навколишнього середовища не нижче -20 °С безпосередньо після підготовки поверхні до склеювання болтів і свердловин. Складається вона з таких операцій:

- установки нижнього кільця, що центрує, у свердловині;
- введення в свердловину на дві третини її висоти епоксидного клею (пневмошприцем чи з малогабаритного посуду);
- установки болта повільним зануренням до влучення його в нижнє кільце;
- установки верхнього кільця, що центрує (врівень із поверхнею бетону фундаменту).

Передача навантаження на болти допускається через 72 год після їхньої установки.

За температури навколишнього середовища від +15 °С до -20 °С технологія установки анкерних болтів на епоксидному клеї містить такі додаткові операції:

- заливання в свердловину клею з температурою 35–40 °С;
- розігрівання анкерних болтів залежно від температури навколишнього середовища від +15 °С до -20 °С (табл. 5.11). Анкерні болти розігрівають у нагрівальних печах з розподілом температури, що рекомендується, по всьому перерізі болта.

Не допускається зниження температури стержня анкера перед його установкою в свердловину проти нижніх меж температур, що рекомендуються у таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Технологічний режим установки анкерних болтів за температури навколишнього середовища нижче 5 °С

Температура навколишнього середовища, °С	Технологічний режим установки болтів		
	Температура нагрівання клею, °С	Температура попереднього нагрівання стержня анкера, °С	Час витримання анкерного з'єднання до передачі навантаження, діб
Від +5 до 0	35	100–150	1
Від 0 до -5	40	150–200	1
Від -5 до -15	40	200–250	2
Від -15 до -20	40	300	3

Печі повинні бути обладнані автоматичним регулятором температури, а їхня потужність повинна забезпечувати сталість заданої температури з урахуванням циклічного характеру завантаження-вивантаження печі.

5.3.2.7 Установка анкерних болтів за допомогою акрилових клеїв

Установка анкерних болтів за допомогою акрилових клеїв може виконуватися трьома технологічними схемами (див. рис. 5.10) за температури середовища -20 °С.

Установка болтів у свердловини за технологічними схемами 1 і 2 (див. рис. 5.10) складається з таких операцій:

- у свердловину опускають нижнє кільце, що центрує;
- з малогабаритного посуду пласторозчин заливають у свердловину самопливом на 1/3 її висоти;
- установлюють болт, повільно занурюючи його в клей до фіксації на дні свердловини;
- установлюють верхнє кільце, що центрує, (рівень із поверхнею бетону фундаменту).

При установці фундаментних болтів за технологічною схемою 3 (див. рис. 5.10) виконують такі операції:

- через отвори в станині верстата встановлюють болт у свердловину;

– із малогабаритного посуду по спеціальному лотку заливають клей у свердловину між стінками і болтом.

Передачу навантаження на болти, встановлювані за температури вище 15 °С, допускається здійснювати через 24 години, а за температури в межах від 0 °С до 15 °С – через 36 годин. За температури навколишнього середовища від 0 °С до -20 °С виконують попереднє розігрівання анкерних болтів до температури 100 °С.

5.4 Затягування болтів

Під час закріплення устаткування гайки болтів повинні бути затягнуті на величину зусилля попереднього затягування, зазначену в технічних умовах на монтаж. У разі відсутності цієї величини крутного моменту при остаточному затягуванні болта вона не повинна перевищувати вказаної в таблиці 5.12.

Для затягування фундаментних болтів варто застосовувати ручний чи механізований інструмент, а також спеціальні пристрої, зазначені в таблицях 5.13 і 5.14. Вид інструментів має бути вказаний у проєкті проведення робіт.

Таблиця 5.12 – Допустимий крутний момент при затягуванні анкерних болтів

Діаметр різьблення болтів d , мм	10	12	16	20	24	30	36	42	48
Допустимий максимальний крутний момент M при затягуванні болтів, Н·м	12	24	60	100	250	550	950	1 500	2 300

Розрахункові болти діаметром понад 64 мм зазвичай необхідно затягувати шляхом попереднього витягування спеціальними гідравлічними ключами з контролем зусилля за манометром або подовженням.

Затягування болтів потрібно виконувати рівномірно. Для конструктивних болтів затягування здійснюють в два «обходи», для розрахункових – не менше ніж у три «обходи». Болти потрібно затягувати в шаховому порядку симетрично щодо осей устаткування.

Затягування болтів за безпідкладкового способу монтажу устаткування (попередній й остаточний) виконують в два етапи. Остаточне затягування потрібно робити після досягнення міцності матеріалу підливи не менше 70 %.

Під час роботи устаткування зі значними динамічними навантаженнями гайки болтів у необхідних випадках потрібно захищати від самовідгвинчування шляхом стопоріння.

Стопоріння здійснюють за допомогою:

- контргайок;
- пружинних шайб (за ДСТ 6402);
- шайб стопірних із лапками (за ДСТ 13463).

Необхідність установки контргайок, пружинних шайб і шайб стопоріння залежить від типу і характеру роботи устаткування і має бути зазначена в проєкті устаткування.

Після завершення циклу пусконаладжувальних робіт і випробування устаткування гайки болтів потрібно підтягти до розрахункової величини зусилля затягування. Контроль зусилля затягування здійснюється за величиною крутного моменту чи переміщенням подовженням болта, кутом повороту гайки чи за величиною тиску в гідросистемі спеціальних гідроключів.

Величина крутного моменту, прикладеного до гайки конструктивного болта, визначається відповідно до типу і характеру устаткування, але не більше величини, наведеної в таблиці 5.11.

Розрахункові болти затягуються на величину крутного моменту $M_{кр}$, Н·м, що визначається за формулою (5.1).

Таблиця 5.13 – Ручний інструмент для затягування болтів

Найменування і марка інструмента	Діапазон діаметрів болтів, що затягуються	Завод-виготовлювач
2	3	4
Ключі зовні накидні, двосторонні, односторонні, комбіновані: за ДСТ 2839 за ДСТ 2841 за ДСТ 3108 за ДСТ 2906 за ДСТ 16983	M16 – M56 M 16 – M56 M64 – M140 M64 – M140 M16 – M 42	Пермський завод монтажних виробів і засобів автоматизації
Ключі коликові монтажні (з відкритим зевом) марки КК	M10 – M24	Те саме
Ключ-мультиплікатор марки: КМ-70 КМ-130 КМ-200	M27 – M36 M30 – M42 M30 – M42 M42 – M56	– » –

Продовження таблиці 5.13

1	2	3
КМ-400 КМ-600 КМ-800	М48 – М64 М64 – М76 М64 – М100	Пермський завод монтажних ви- робів і засобів авто- матизації
Ключі зевні із самопід- тискними губками, марки СГД-916/4	М14 – М24	Горківський за- вод електромон- тажних інструментів
Ключ тріскачковий коли- ковий з набором змінних голі- вок, марки СГД-961/7	М14 – М30	Те саме
Ключ тріскачковий із шарнір- но-закріпленою рукояткою для болтів із подовженою різьбо- вою частиною марок КТ-42, КТ-80, КТ-100 і КТ-140	М42 – М140	Ногинський дос- лідний завод мон- тажних пристроїв
Ключі спеціальні монтажні для гайок анкерних болтів ти- пу КТ-22р, КТ-30р, КТ-36р	М22 – М36	Те саме

Зусилля затягування знімних болтів, встановлюваних у фундамент з ізолювальною трубою, може контролюватися за величиною подовження шпильки δ . Ця величина визначається за формулою:

$$\delta = F \cdot (H_s + l_{\text{анк}}) / EA_s, \quad (5.1)$$

де $l_{\text{анк}}$ – глибина закладення болта, м; H_s – висота виступаючої над фундаментом частини болта до середини затягнутої гайки, м; $E = 2 \times 10^8$ – модуль пружності матеріалу болта, кПа.

Контроль остаточної величини зусилля затягування допускається здійснювати за кутом повороту гайки.

Для болтів, встановлюваних у фундаменти до бетонування (вигнуті й з анкерною плитою), кут повороту гайки необхідно визначати за формулою:

$$\gamma_z^0 = \frac{360^\circ F 14 d_s}{EA_s \cdot S}, \quad (5.2)$$

а для знімних болтів – за формулою:

$$\gamma_3^0 = \frac{360^0 F \cdot (l_{анк} + 2d_s)}{EA_s \cdot S}, \quad (5.3)$$

де S – крок різьблення.

При визначенні подовження δ болта потрібно користуватися годинниковими індикаторами, прецизійними нівелірами та іншими приладами, що забезпечують виміри з точністю не менше $\pm 0,02$ мм щодо ненавантаженої поверхні фундаменту.

Кут повороту гайки потрібно визначати за допомогою мірних підкладок, шаблонів, транспортирів та інших пристроїв, що забезпечують точність вимірів не менше $\pm 5^0$.

Величину крутного моменту $M_{кр}$, можна контролювати за допомогою граничних і динамометричних ключів, вказаних у таблицях 5.12 і 5.13.

При застосуванні рідкоударних гайковертів типу ИЕЗ112, ИЕЗ115А, ИЕЗ118 крутний момент потрібно контролювати за часом роботи гайковерта.

5.5 Контроль якості проведення робіт

Несуча здатність анкерних болтів забезпечується: міцністю бетону фундаменту; міцністю анкерних болтів і матеріалів для їхнього кріплення; поопераційним контролем технологічних процесів установки болтів.

Для контролю якості клею з кожної партії компонентів, що надходять на будівництво, приготують і випробують зразки клеїв чи інших матеріалів на стиск (ДСТ 4651). Виготовлення зразків для випробування клеїв на стиск варто проводити в сталевих формах на скляному піддоні. Наповнення форм клеєм здійснюється самопливом без ущільнення. Витримують зразки за температури не менше $20\text{ }^\circ\text{C}$. Після витягання зразків із форми верхню грань їх шліфують.

Зразки клею на стиск випробують через троє діб із моменту виготовлення. Одночасно випробують не менше 5 зразків.

Для випробувань варто застосовувати гідравлічний прес малої потужності (до 50 кН), що дозволяє визначати міцність клею з похибкою до 1 %.

Допустимим до проведення робіт вважається клей, що показав під час випробування зразків на стиск міцність, що відповідає розділу 2.

Поопераційному контролю підлягають: діаметр, вертикальність і глибина свердловини; технологія готування клею; очищення свердловин і обробка поверхні болта; нагрівання болтів в умовах установки за зниженої температури середовища; рівномірність розподілу клею в свердловині навколо болта.

Для контролю якості проведення робіт на об'єкті встановлюють контрольну кількість болтів із розрахунку 3 болти діаметром 20 мм на 500 встановлених у конструкції (але не менше трьох за кількості болтів від 50 до 500).

Болти випробують після закінчення часу, зазначеного в розділі 5.3, за допомогою гідравлічного домкрата, що передає осьове статичне навантаження на болт. Відстань від осі болта до упора домкрата може бути довільною.

Для випробувань можуть бути застосовані домкрати типу ДС-15-125 чи аналогічні їм за конструкцією.

Середня величина зчеплення на контакті клей-метал при глибині закладання болта $10d_s$ має бути не менше 6 МПа для всіх матеріалів, використовуваних при закладенні, крім модифікованих акрилових клеїв. В останньому випадку повинен зруйнуватися анкер за нормальних розтяжних зусиллях.

Відхилення осей забитих анкерних болтів, установлюваних на готових фундаментах, від проєктного положення не повинне перевищувати ± 2 мм у плані і ± 10 мм за висотою. Відхилення від проєктного положення осей колодязів для вигнутих болтів не повинне перевищувати ± 10 мм.

Максимальна величина допустимого зсуву верхнього кінця болта при вигині не повинна перевищувати $2d_s$. Водночас деформації вигину болта допустимі тільки поза його різьбовою частиною.

5.6 Рекомендації з улаштування клейових сталобетонних безанкерних з'єднань

Як було вказано вище, безанкерне клейове кріплення промислового устаткування та технологічних ліній базується на з'єднанні бетону зі сталлю акриловими модифікованими клейовими композиціями. Кріплення цим методом здійснюється приклеюванням кріпильних вузлів (див. рис. 1.11, а) та/або безпосередньо опорних частин виробничого устаткування (див. рис. 1.11, б), а технологічних комунікацій – приклеюванням кріпильних вузлів (див. рис. 5.1, 5.2, 5.3) до поверхні бетону. У процесі приклеювання необхідно дотримуватися таких основних технологічних умов:

- а) температура навколишнього середовища має бути не нижче $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- б) у зоні безпосереднього виконання робіт мають знаходитися компоненти акрилового клею та всі необхідні інструменти і кріпильні вузли;
- в) до початку виконання робіт має бути проведено контрольне визначення міцності (класу) бетону та випробування зразків клею на міцність;

г) також до початку виконання робіт потрібно визначити величину та вид навантаження на всю конструкцію, зокрема на клейове з'єднання.

5.6.1 Підготовка бетонних поверхонь конструкцій до склеювання

Поверхню бетону очищають від цементної плівки та частково знімають із неї верхній шар (2–3 мм) до появи видимих вкраплень крупного заповнювача з подальшим ретельним видаленням пилу. Цю роботу можна виконувати механічним, термічним або хімічним шляхом. Потрібно також враховувати вплив способу очищення поверхні бетону на міцність клейового з'єднання.

Ручне механічне очищення поверхні бетону виконують за допомогою твердосплавної бучарди. Як механізований інструмент застосовують шліфувальні машини, які обладнані абразивним диском, а також пневматичні молоти, які оснащені бучардою.

Термічне очищення може здійснюватися паяльною лампою або іншим подібним інструментом. У цьому випадку ділянку поверхні бетону, яку очищують, прогрівають за максимального режиму роботи паяльної лампи до появи спеченої структури поверхневої плівки. Потім проводять видалення цих відходів. Хімічне очищення може проводитися 30 %-ним розчином соляної кислоти, для чого ділянку поверхні бетону, яку очищують, обробляється кислотою до повного насичення поверхневого шару. Після закінчення реакції зі знищення поверхневого шару бетону ділянку приклеювання промивають водою.

Поверхня сталевих кріпильних вузлів та опорних частин не повинна мати слідів корозії і масляних включень. Підготовка поверхні складається з попередньої механічної та остаточної хімічної обробки. Попередню механічну обробку кріпильних вузлів виконують із метою видалення пилу, консервуючих покриттів у вигляді жирового змащення та інших забруднень. Очищення здійснюють щітками, шкребками, наждаковим папером тощо. За наявності на поверхні кородованих ділянок їх механічно видаляють за допомогою шліфувальних машин. За необхідністю остаточну (хімічну) обробку металевих кріпильних конструкцій можливо виконати в 20 %-ному розчині соляної кислоти, у який додають 1 % (за обсягом розчину) уротропіну.

Для опорних частин обладнання, які виготовлені з чавуну, механічне очищення обов'язково у всіх випадках (з метою видалення поверхневої графітової кашки).

Приготування і компаундування акрилового клею різних складів достатньо детально описано в наукових роботах [59, 60, 76, 98, 99, 100].

5.6.2 Склеювання на горизонтальних бетонних поверхнях

Приклеювання вузлів кріплення та/або опорних частин виробничого обладнання може здійснюватися за одною з трьох технологічних схем (рис. 5.9–5.11):

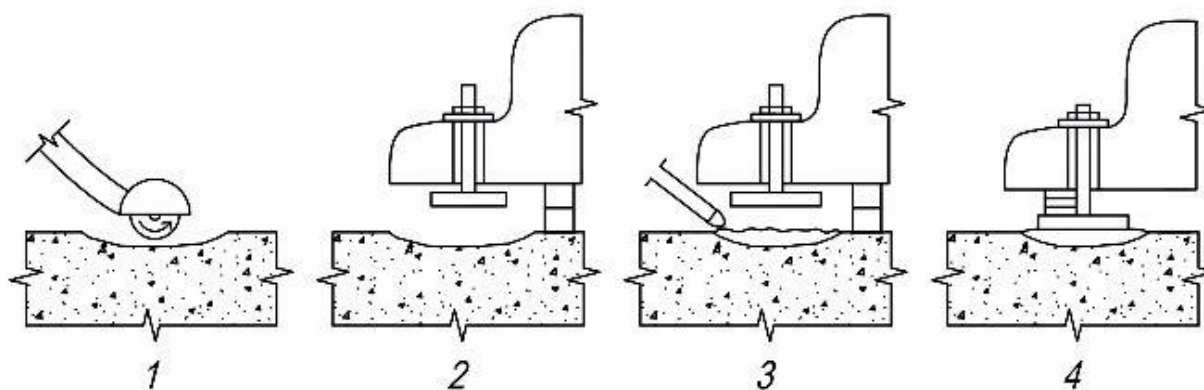


Рисунок 5.9 – Схема приклеювання вузлів кріплення після монтажу виробничого обладнання: 1 – зачищення бетонної поверхні; 2 – установка і вивірювання обладнання на інвентарних підкладках; 3 – нанесення клею і приклеювання кріпильних вузлів; 4 – видалення інвентарних підкладок і установка підкладок-фіксаторів.

Перша схема – приклеювання акриловими модифікованими клеями вузлів кріплення після монтажу інженерного устаткування.

Друга схема – приклеювання вузлів кріплення до монтажу інженерного устаткування;

Третя схема – приклеювання опорних частин обладнання в процесі монтажу інженерного устаткування.

Згідно з першою схемою (рис. 5.9) технологічний процес складається з таких операцій:

- робітники зачищають бетонну поверхню;
- на опорні частини інженерного устаткування попередньо навішують кріпильні вузли, пропускаючи стрижні – болти через отвори в плитовинах і загвинчуючи на болти гайки;
- інженерне устаткування встановлюють у проектне положення на інвентарні підкладки і вивіряють;

- на попередньо розмічені та очищені ділянки бетонної поверхні фундаменту (конструкцій) наносять шар клею товщиною 5–10 мм;
- кріпильні вузли опускають до зіткнення з клейовим шаром і притискають до появи його надлишків;
- далі встановлюють підкладки, які спираються на кріпильні вузли, після чого видаляють інвентарні підкладки;
- на попередньо розмічені та очищені ділянки бетонної поверхні фундаменту (конструкцій) наносять шар клею товщиною 5–10 мм;

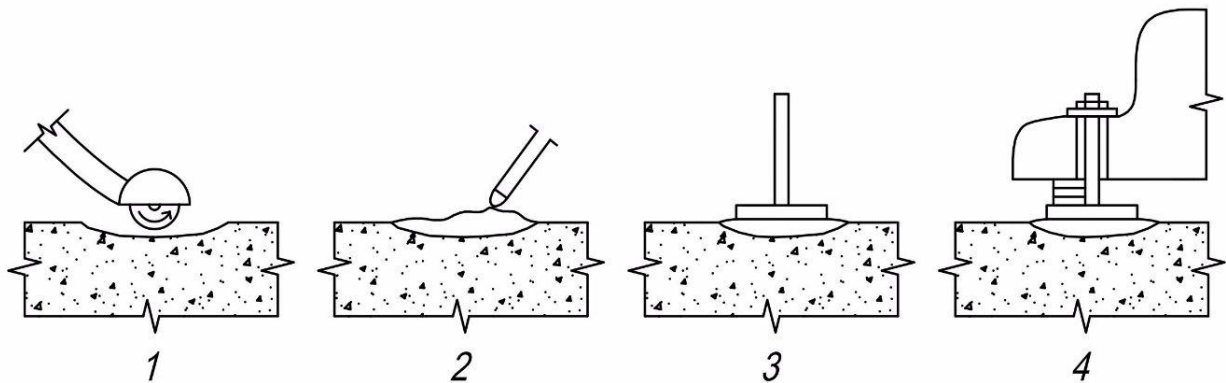


Рисунок 5.10 – Схема приклеювання вузлів кріплення до монтажу виробничого обладнання: 1 – зачищення бетонної поверхні; 2 – нанесення клею; 3 – приклеювання кріпильного вузла; 4 – установка і вивіряння обладнання на інвентарних підкладках-фіксаторах

Згідно з другою схемою (рис. 5.10) технологічний процес складається з таких операцій:

- кріпильні вузли встановлюють у проєктне положення, після чого легко притискають їх до появи по периметру надлишків клею;
- робітники встановлюють інженерне устаткування на підкладки, які спираються на кріпильні вузли, після чого вивіряють і закріплюють.

Відповідно до третьої схеми (рис. 5.11) технологічний процес складається з таких операцій:

- на попередньо розмічені й очищені ділянки бетонної поверхні фундаменту (конструкцій) укладають підкладки-фіксатори, які забезпечують допустимі межі висоти клейового шва та необхідну точність установки інженерного устаткування в горизонтальній площині (рекомендується попередня заготовка підкладок-фіксаторів розміром 30 мм × 100 мм з листової сталі висотою 0,3; 0,5 та 1 мм);

– робітники наносять клей і встановлюють інженерне устаткування в проектне положення (у всіх випадках товщина клею, що наноситься на поверхню, повинна перевищувати висоту підкладок-фіксаторів).

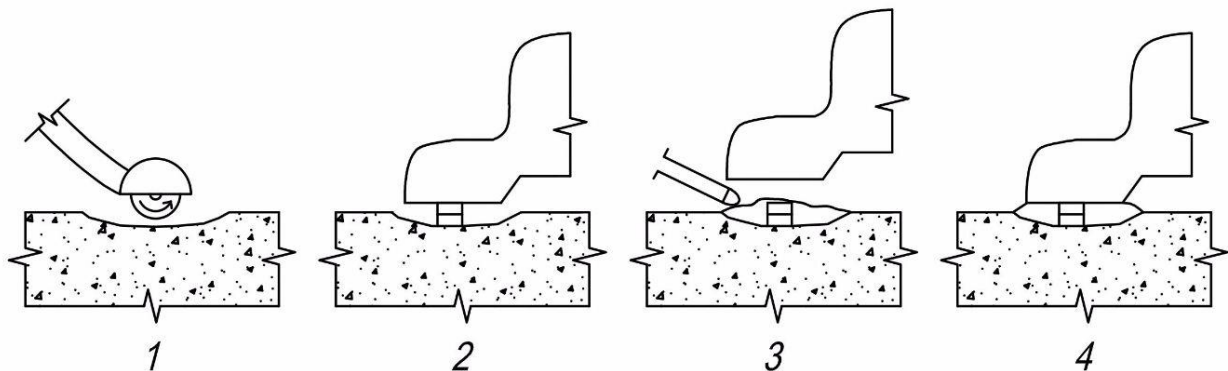


Рисунок 5.11 – Схема приклеювання опорних частин виробничого обладнання до бетонної поверхні: 1 – зачищення бетонної поверхні; 2 – установка і попереднє вивіряння обладнання на підкладках-фіксаторах; 3 – нанесення клею на бетонну поверхню; 4 – приклеювання виробничого обладнання

Протягом часу затвердіння акрилового модифікованого клею після приклеювання необхідно забезпечити геометричну незмінність положення виробничого обладнання [125]. Передача експлуатаційного навантаження на обладнання допускається після набору клеєм проектної міцності.

5.6.3 Склеювання на вертикальних бетонних поверхнях

У цьому випадку технологічний процес приклеювання кріпильних вузлів складається з таких операцій:

- підготовка поверхонь металу та бетону до склеювання;
- на поверхню кріпильного вузла, яка буде приклеюватися до бетонної конструкції, шпателем наноситься шар клею;
- кріпильний вузол із попередньо нанесеним шаром клею встановлюють в проектне положення;
- робітники легко притискають або легко простукують молотком по кріпильному вузлу до появи по периметру надлишків клею, після чого забезпечується геометрична незмінність його положення спеціальними утримувальними пристроями.

Утримувальні пристрої демонтують не раніше ніж через 24 години з моменту приклеювання кріпильного вузла [125].

Передача експлуатаційного навантаження на кріпильний вузол допускається тільки після набору акриловим модифікованим клеєм проектної міцності.

Питання для самоперевірки до розділу 5

1. Які основні операції складають технологію установки анкерних болтів у бетоні?
2. Які види механізованого ручного інструмента використовуються для буріння чи свердління свердловин у бетоні?
3. Що є робочим органом бурового інструмента і його види?
4. Для чого необхідні бурові штанги і їхня конструкція?
5. Які відмінності готування сумішей і клеїв залежно від виду сполучного?
6. Як визначаються вагові дози клеїв і сумішей?
7. Чим відрізняється технологія установки анкерних болтів до бетонування фундаментів і в існуюче?
8. У чому полягає підготовка поверхонь бетону свердловин і анкерних болтів при їхньому закладенні клеями чи сумішами?
9. Які існують технологічні схеми установки розклинених болтів?
10. Як залежить спосіб установки болтів у свердловини від технологічних властивостей клеїв і сумішей?
11. Який застосовується інструмент для попереднього затягування болтів?
12. У чому полягає контроль якості провадження робіт під час установлення анкерних болтів?

6 ВИВІРЯННЯ УСТАТКУВАННЯ І КОНСТРУКЦІЙ

6.1 Способи обпирання устаткування на фундаменти

Залежно від конструкції стиків «фундамент – устаткування» установку устаткування на фундамент здійснюють у такий спосіб:

а) із вивіренням на тимчасових опорних елементах, підливою зазору «устаткування – фундамент» і з обпиранням при закріпленні на масив затверділого матеріалу підливи (безпідкладковий монтаж, рис. 6.1, а);

б) із вивіренням і закріпленням на постійних опорних елементах і наступною підливою бетонною сумішшю зазору «устаткування – фундамент» (рис. 6.1, б).

За першого способу обпирання устаткування передача монтажних і експлуатаційних навантажень на фундамент здійснюється через постійні опорні елементи, а підлива має допоміжне, захисне чи конструктивне призначення.

За необхідності регулювання положення устаткування в процесі експлуатації підливу можна не виконувати, що повинно передбачатися інструкцією під час монтажу.

Під час установлення устаткування з використанням як постійних опорних елементів пакетів плоских металевих підкладок, опорних башмаків тощо співвідношення сумарної площі контакту опор A з поверхнею фундаменту і сумарної площі поперечного перерізу болтів A_b має бути не менше 15. У разі обпирання устаткування на бетонну підливу експлуатаційні навантаження від устаткування передаються на фундаменти безпосередньо через підливу.

Конструкція стиків вказується в монтажних кресленнях чи в інструкції на монтаж устаткування.

За відсутності спеціальних вказівок в інструкціях заводу-виготовлювача устаткування чи в проєкті фундаменту конструкція стику і тип опорних елементів можуть призначатися монтажною організацією.

6.2 Вивірення устаткування

Вивірення устаткування (установку в проєктне положення щодо заданих осей і оцінок) здійснюють поетапно з досягненням заданих показників точності в плані, а потім за висотою і горизонтальністю (вертикальністю). Відхилення встановленого устаткування від номінального положення не повинне перевищувати допусків, зазначених у заводській технічній документації й в інструкціях на монтаж окремих видів устаткування.

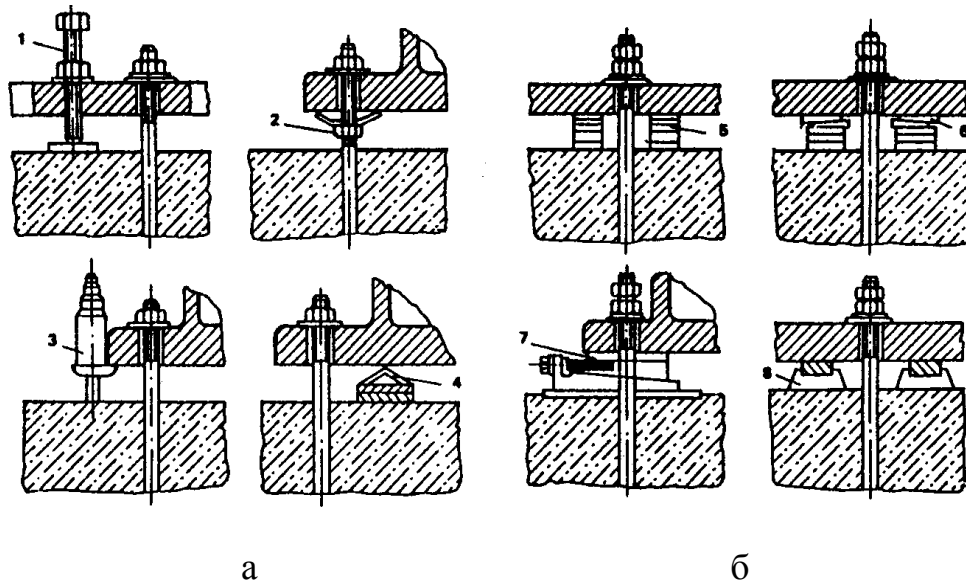


Рисунок 6.1 – Опорні елементи для вивірення й установки устаткування: а – тимчасові; б – постійні; 1 – віджимні регульовальні гвинти; 2 – установочні гайки з тарілчастими пружинами; 3 – інвентарні домкрати; 4 – полегшені металеві підкладки; 5 – пакети металевих підкладок; 6 – клини; 7 – опорні башмаки; 8 – жорсткі опори

Вивірення устаткування за висотою роблять відносно робочих реперів або щодо раніше встановленого устаткування, з яким вивірюване устаткування зв'язане кінематично чи технологічно.

Вивірення устаткування у плані (із задалегідь установленими болтами) виконують у два етапи: спочатку суміщують отвори в опорних частинах устаткування з болтами (попереднє вивірення), потім вводять устаткування в проєктне положення щодо осей чи фундаментів раніше вивіреного устаткування (остаточне вивірення).

Контроль положення устаткування під час вивірення здійснюють як загальноприйнятими контрольно-вимірювальними інструментами, так і оптико-геодезичним способом, а також за допомогою спеціальних центрувальних та інших пристроїв, що забезпечують контроль перпендикулярності, паралельності й співвісності.

Вивірення устаткування проводять на тимчасових (вивірочних) або постійних (несучих) опорних елементах.

Як тимчасові (вивірочні) опорні елементи під час вивірення устаткування до його підливи бетонною сумішшю використовують: віджимні регульовальні гвинти; установочні гайки з тарілчастими шайбами; інвентарні домкрати; полегшені металеві підкладки та ін. Під час вивірення як постійні (несучі)

опорні елементи, що працюють і в період експлуатації устаткування, використовують: пакети плоских металевих підкладок; металеві клини; опорні башмаки; жорсткі опори (бетонні подушки).

Вибір тимчасових (вивірочних) опорних елементів і відповідно технології вивірення виконує монтажна організація залежно від ваги окремих монтажних блоків устаткування, установлюваних на фундамент, а також виходячи з економічних показників. Кількість опорних елементів, а також кількість і розташування болтів, які затягують під час вивірення, вибирається з умов забезпечення надійного закріплення вивіреного устаткування на період його підливи.

Сумарну площу обпирання тимчасових (вивірочних) опорних елементів A , м², на фундамент визначають з виразу

$$A \geq 6nA_3 + G \cdot 15 \times 10^{-5}, \quad (6.1)$$

де n – число фундаментних болтів, що затягуються під час вивірення устаткування; G – вага вивірюваного устаткування, кН.

Сумарна вантажопідйомність W , кН, тимчасових (вивірочних) опорних елементів визначається співвідношенням

$$W \geq 1,3G + nA_3\sigma_0, \quad (6.2)$$

де σ_0 – напруження попереднього затягування фундаментних болтів, кПа.

Тимчасові опорні елементи потрібно розташовувати виходячи із зручності вивірення устаткування з урахуванням виключення можливої деформації корпусу і деталей устаткування від власної ваги і зусиль попереднього затягування гайок болтів.

Постійні (несучі) опорні елементи потрібно розміщувати на можливо близькій відстані від болтів. Водночас опорні елементи можуть розташовуватися як з одного, так і з двох сторін болта.

Закріплення устаткування у вивіреному положенні повинне здійснюватися шляхом затягування гайок болтів відповідно до рекомендацій розділу 5 цієї роботи.

Опорна поверхня устаткування у вивіреному положенні повинна щільно прилягати до опорних елементів, віджимні регульовальні гвинти – до опорних пластин, а постійні опорні елементи – до поверхні фундаменту. Щільність прилягання металевих частин, що сполучаються, перевіряють щупом товщиною 0,1 мм.

Технологія вивірення устаткування за допомогою регульовальних гвинтів, інвентарних домкратів, установочних гайок, а також на твердих бетонних подушках і металевих підкладках наведена нижче.

6.2.1 Вивіряння устаткування за допомогою вивірочних гвинтів

При вивірці устаткування опорні пластини встановлюють на фундамент відповідно до розташування гвинтів в опорній частині устаткування. Місця розташування опорних пластин на фундаментах вирівнюють по горизонталі з відхиленням не більше 10 мм на 1 м. Перед установкою устаткування на фундаменті розміщують допоміжні опори, на які опускають устаткування. При опусканні устаткування на фундамент без допоміжних опор регулювальні гвинти повинні виступати нижче установочної поверхні устаткування на однакову величину, але не більше ніж на 20 мм.

Положення устаткування по висоті і горизонтальності слід регулювати по черзі всіма віджимними гвинтами, не допускаючи в процесі вивірки відхилення устаткування від горизонталі більше ніж на 10 мм на 1 м. Після завершення вивірки устаткування положення регулювальних гвинтів фіксують стопорними гайками.

Перед підливою різьбову частину регулювальних гвинтів, використовуваних багаторазово, захищають від зіткнення з бетоном за допомогою обгортання щільним папером.

Перед остаточним затягуванням фундаментних болтів регулювальні гвинти вивертають на 2-3 обороти. При повторному використанні гвинти вивертають повністю. Отвори, що залишилися (щоб уникнути попадання масла), зашпаровують різьбовими пробками чи цементним розчином, поверхню якого вкривають маслостійкою фарбою.

6.2.2 Вивіряння устаткування за допомогою інвентарних домкратів

Для вивірки устаткування за допомогою інвентарних домкратів можуть бути використані гвинтові, клинові, гідравлічні та інші домкрати, що забезпечують необхідну точність вивірки, безпеку і зручність регулювання.

Домкрати, розміщені на підготовлених фундаментах, попередньо регулюють за висотою з точністю 2 мм. Потім на них опускають устаткування. При вивірці устаткування не допускаються відхилення домкрата від вертикалі.

Перед підливою інвентарні домкрати відгороджують опалубкою. Опалубку й інвентарні домкрати видаляють через 2-3 доби після підливи. Ніші, що залишилися, заповнюють сумішшю, використовуваною для підливи.

6.2.3 Вивіряння устаткування на установочних гайках

Для вивірки устаткування за допомогою установочних гайок (рис. 6.1) болти повинні мати подовжене до bd_s різьблення, що передбачається при виготовленні болтів за вимогою монтажної організації.

Вивірку устаткування виконують або на установочних гайках за допомогою пружних елементів, або безпосередньо на установочних гайках.

Як пружні опорні елементи рекомендуються металеві тарілчасті, гумові чи пластмасові шайби.

Послідовність вивірки устаткування за допомогою тарілчастих шайб наступна: опорні гайки з тарілчастими шайбами встановлюють так, щоб верх шайби був на 1-2 мм вище проектної оцінки установочної поверхні устаткування; устаткування встановлюють на шайби; роблять вивірку устаткування за допомогою кріпильних гайок.

Аналогічно здійснюють вивірку на установочних гайках з пружними елементами у вигляді гумових чи пластмасових шайб.

Вивірку устаткування на установочних гайках без пружних елементів виконують регулюванням положення гайок на болтах за висотою. По закінченні вивірки установочні гайки вигороджують опалубкою, яку видаляють після схоплювання бетонної суміші (через 2-3 доби після підливи). Перед остаточним затягуванням болтів установочні гайки опускають на 3-4 мм. Ніші, що залишилися, заповнюють сумішшю, використовуваною для підливи. Цей спосіб вивірки застосовується при діаметрі фундаментних болтів не більше 36 мм.

6.2.4 Вивіряння устаткування на твердих бетонних подушках

Жорсткі опори виготовляють безпосередньо на фундаментах з точністю відповідною допустимим відхиленням положення устаткування за висотою і горизонталлю. На твердих опорах вивіряють устаткування з механічно обробленими опорними поверхнями. Після опускання на опори устаткування його вивіряють у плані й закріплюють.

Для виготовлення твердих опор застосовують бетон класу не нижче В15 із заповнювачем у вигляді щебеню чи гравію фракції 5-12 мм.

Питомий тиск від маси устаткування на опорі не повинен бути більше 5 МПа.

Для виготовлення бетонних опор у спеціальну опалубку на попередньо очищену й зволожену поверхню фундаменту укладають порцію бетонної су-

міші до рівня, що на 1-2 см перевищує необхідну позначку. Потім поверхню опор вирівнюють, надлишки суміші видаляють.

Для підвищення точності бетонних опор на них укладають металеві пластини з механічно обробленою опорною поверхнею чи регульовальні клини. Відстань від пластини до краю бетонної опори має бути не менше ширини пластини. Для виготовлення бетонних опор з металевими пластинами бетонну суміш укладають в опалубку до рівня, що повинен бути нижче проектної оцінки на $1/2 - 1/3$ товщини пластини. Потім на бетон, що не схопився, кладуть пластину і легкими ударами молотка занурюють її до проектної оцінки.

При застосуванні регульовальних клинів похибка їхньої установки за висотою не повинна перевищувати ± 2 мм. Горизонтальність пластин чи клинів перевіряють за допомогою рівня, установлюваного на пластину послідовно в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Для устаткування, що не потребує високої точності установки, допускається застосування твердих опор без металевих пластин.

У процесі вивірки допускається точне регулювання висоти опорних елементів за допомогою додавання тонких металевих підкладок.

Установку устаткування роблять після набору бетоном твердих опор міцності не менше $1 \cdot 10^4$ кПа.

6.2.5 Вивіряння устаткування на пакетах металевих підкладок

Пакети металевих підкладок застосовують як постійні (несучі), так і тимчасові (вивірочні) опорні елементи. Пакети набирають зі сталевих чи чавунних підкладок товщиною 5 мм і більше. Досягнення проектного рівня установки устаткування здійснюють у процесі його попереднього закріплення за допомогою регульовальних підкладок товщиною 0,5–5 мм.

Підкладки в пакетах, використовуваних як постійні опорні елементи, мають бути плоскими, без заусенців, опуклостей і западин. До складу пакетів, крім плоских, можуть входити клинові та інші регульовані за висотою підкладки. Кількість підкладок у пакеті має бути мінімальною і не повинна перевищувати 5 шт., включаючи тонколистові. Поверхня бетону фундаменту під пакетами підкладок має бути ретельно вивірена. Після остаточного затягування болтів підкладки з'єднують між собою електрозварюванням.

Таблиця 6.1 – Металеві підкладки для установки устаткування

Вага устаткування, кН	Розмір підкладок, мм	Матеріал
Більше 1 000	250 × 120 × 80	чавун
	250 × 120 × 60	чавун
	250 × 120 × 40	сталь
	250 × 120 × 30	сталь
	200 × 100 × 30	сталь
	200 × 100 × 20	сталь
	200 × 100 × 10	сталь
	200 × 10 × 5	сталь
Від 300 до 1 000	200 × 100 × 50	чавун або сталь
	200 × 100 × 30	сталь
	200 × 100 × 20	сталь
	150 × 100 × 10	сталь
	150 × 100 × 5	сталь
Від 100 до 300	150 × 100 × 30	чавун або сталь
	150 × 100 × 20	сталь
	120 × 80 × 10	сталь
	120 × 80 × 5	сталь
Менше 100	120 × 80 × 20	сталь
	120 × 80 × 10	сталь
	120 × 80 × 5	сталь

Розміри підкладок (залежно від маси машин) наведені в таблиці 6.1. Кількість несучих пакетів підкладок визначається з умови, викладеної в параграфі 6.1, а тимчасових, використовуваних для вивірки устаткування, – в параграфі 6.2.

6.3 Підлива устаткування

Підлива устаткування повинна здійснюватися бетонною сумішшю, цементно-піщаними чи спеціальними розчинами після попередньої (для конструкцій стиків на тимчасових опорах) або після остаточного (для конструкцій стиків на постійних опорах) затягування гайок болтів.

Товщина шару підливи під устаткуванням має бути в межах 50–80 мм. У разі наявності на опорній поверхні устаткування ребер жорсткості зазор приймають від низу ребер (рис. 6.2).

Підлива в плані повинна виступати за опорну поверхню устаткування не менше ніж на 100 мм. Разом із тим її висота має бути більше висоти основного шару підливи під устаткуванням не менше як на 30 мм і не більше товщини опорного фланця устаткування. Поверхня підливи, що примикає до устаткування, повинна мати ухил убік від устаткування і захищена маслостійким покриттям.

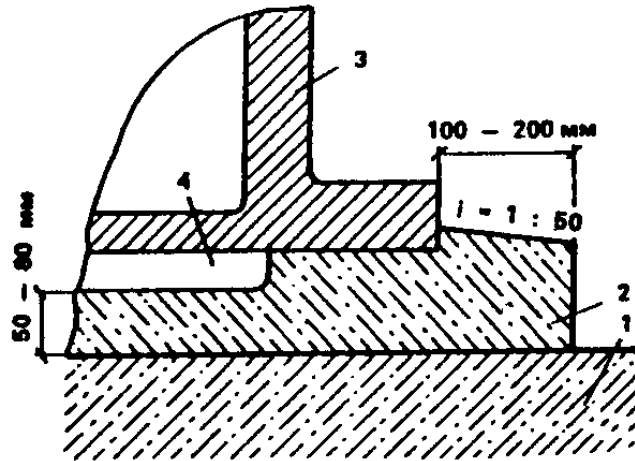


Рисунок 6.2 – Схема підливи під устаткування:
 1 – фундамент; 2 – підлива; 3 – опорна частина устаткування;
 4 – ребро жорсткості опорної частини

Клас бетону чи розчину за міцністю при обпиранні устаткування безпосередньо на підливу приймають на один ступінь вище класу бетону фундаменту.

Поверхню фундаментів перед підливою очищають від сторонніх предметів, масла і пилу. Безпосередньо перед підливою поверхню фундаменту зволожують, не допускаючи водночас скупчення води в заглибленнях і приямках. Підливу під устаткуванням за температури навколишнього повітря нижче 5 °С варто робити сумішами, що підігріваються, (електропідігрівання, пропарювання і т. п.).

Бетонну суміш чи розчин подають через отвори в опорній частині або з одного боку устаткування, що підливається, доти, поки з протилежного боку суміш чи розчин не досягнуть рівня, що на 30 мм перевищує висоту рівня опорної поверхні устаткування.

Подачу суміші чи розчину варто робити безперервно. Рівень суміші з боку подачі повинен перевищувати рівень поверхні, що підливається, не менше ніж на 10 мм.

Для підливи устаткування можна використовувати пневмонагнітачі бетону типу З-862 чи бетононасоси типу СБ-68.

Подачу бетонної суміші рекомендується здійснювати вібруванням із застосуванням лотка-нагромаджувача. Вібратор водночас не повинен торкатися опорних частин устаткування. За ширини простору, що підливається, більше 1 200 мм установка лотка-нагромаджувача є обов'язковою (рис. 6.3). Довжина лотка повинна дорівнювати довжині простору, що підливається.

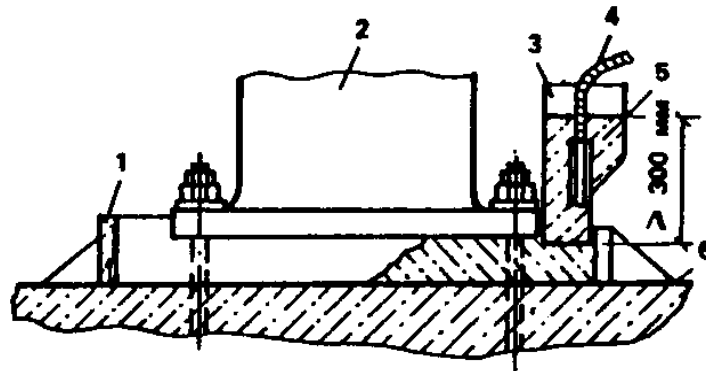


Рисунок 6.3 – Підлива устаткування за допомогою лотка-нагромаджувача:
1 – опалубка; 2 – опорна частина устаткування; 3 – лоток-нагромаджувач;
4 – вібратор; 5 – підливочна суміш; 6 – фундамент

Обпирання лотка на устаткування, що підливається, не допускається. Рівень бетонної суміші при підливці з лотком повинен знаходитися вище опорної поверхні устаткування приблизно на 300 мм і підтримуватися постійним. Для проведення робіт із підливи рекомендується використовувати вібратори з гнучким валом, наприклад ВЕРБ-34, ВЕРБ-47, ВЕРБ-56, ВЕРБ-60, ВЕРБ-65, ВЕРБ-67 та ін.

Поверхню підливи протягом трьох діб після завершення робіт необхідно систематично зволожувати, посипати тирсою або вкривати мішковиною.

При застосуванні бетонної підливи розмір великого заповнювача повинен бути не більше 20 мм.

Підбір складу бетону виконують відповідно до діючих нормативних документів. Осадка конуса бетонної суміші має бути не менше 6 см. Для поліпшення властивостей бетону підливи (зменшення усадки, збільшення рухливості) рекомендується вводити добавку СДБ у кількості 0,2–0,3 % маси цементу. При введенні СДБ витрата цементу і води орієнтовно знижується на 8–40 % при збереженні розрахункового значення водоцементного відношення. Як підлива може бути використаний бетон із дрібним заповнювачем у вигляді грубозернистого піску з модулем крупності 2,5–3,5 мм.

Для захисту підливи від корозії в агресивних середовищах необхідно застосовувати покриття відповідно до вимог СНиП 2.03.11. ДСТУ Б В.2.6-193:2013 Защита металлических конструкций от коррозии. Требования к проектированию.

6.4 Способи обпирання сталевих колон

Обпирання сталевих колон каркасів промислових будинків із розділовими вітками (гратчастого типу) здійснюють на заздалегідь вивірені сталеві опорні плити, які встановлюються під кожен галузь на бетонну підливу (рис. 6.4).

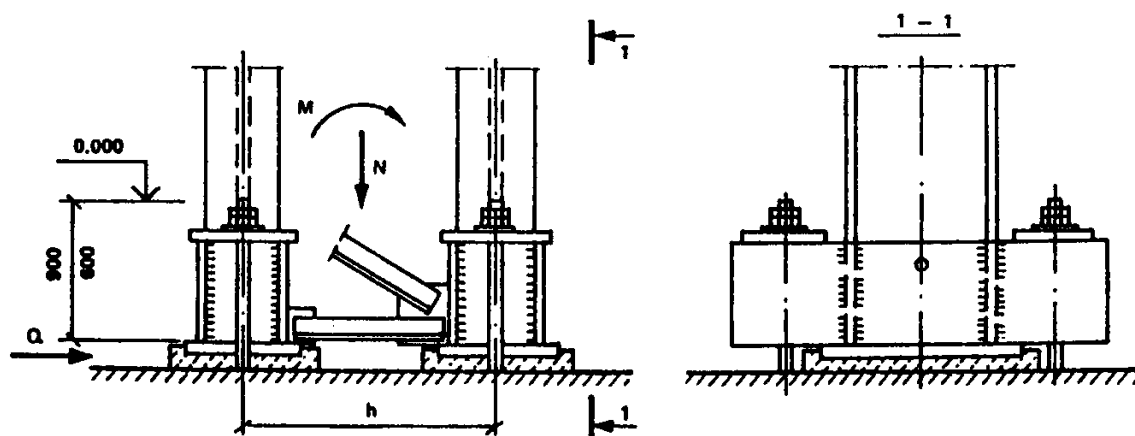


Рисунок 6.4 – Сполучення сталевих колон гратчастого типу з фундаментами

Кількість і розташування болтів визначають залежно від розрахункових навантажень і конструкції фундаментів. Схеми розташування болтів наведені на рисунку 6.5.

Обпирання сталевих колон суцільного типу каркасів промислових будинків на фундамент здійснюється через сталеву пластину, приварену до колони і встановлену на фундаментні болти з вивірочними гайками з наступним замоноличуванням опорного вузла (рис. 6.6).

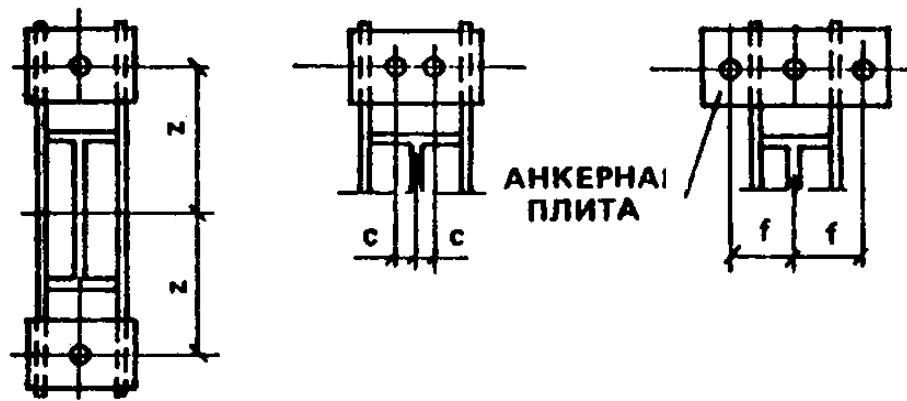


Рисунок 6.5 – Схема розташування болтів для кріплення сталевих колон гратчастого типу

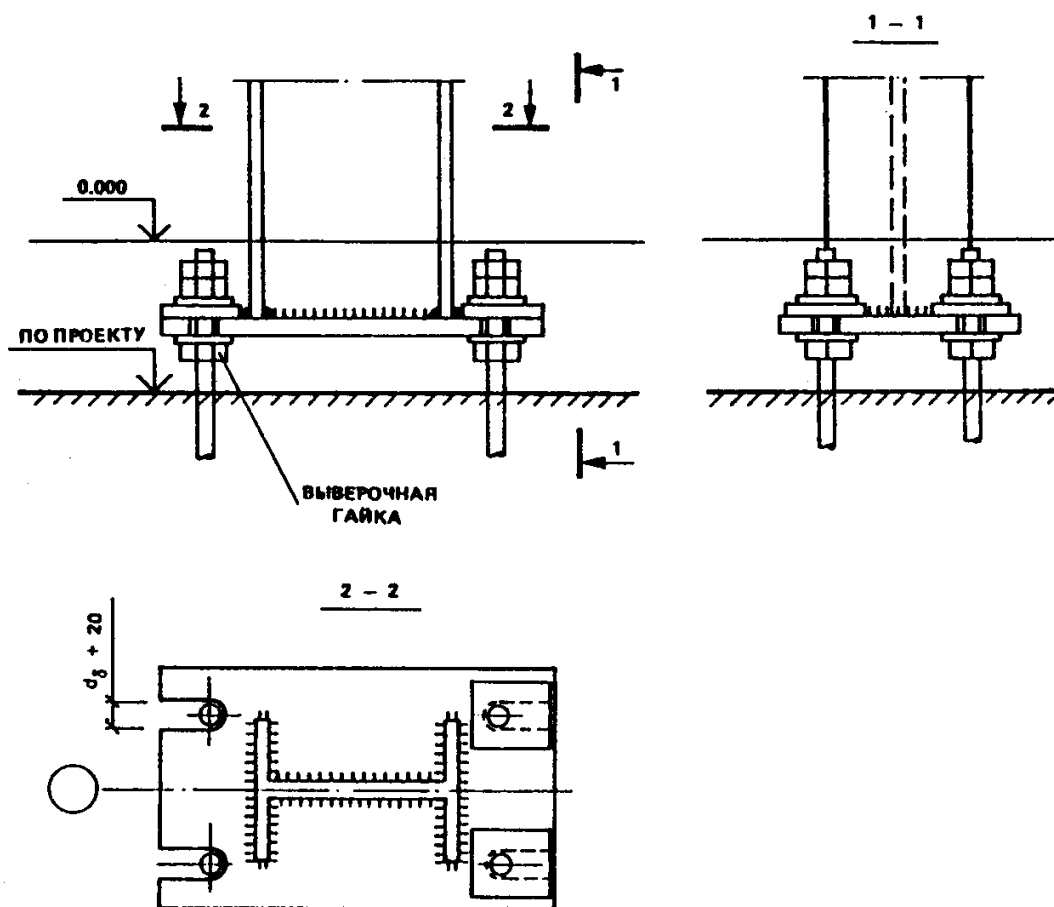


Рисунок 6.6 – Схема установки сталевих колон суцільного типу каркасів промислових будинків

Сталеві бази у нижній частині сталевих колон передбачені для збільшення площі опирання колони та з'єднання її з фундаментом. Сталеві колони опирають на залізобетонні фундаменти через шар цементно-піщаної стяжки. Для захисту від корозії підпільну частину колон разом із базою покривають шаром бетону.

Питання для самоперевірки до розділу 6

1. Для чого необхідне вивірення устаткування під час його монтажу?
2. Які існують опорні елементи для установки і вивірення устаткування?
3. Як визначається сумарна площа обпирання тимчасових опорних елементів і їхня вантажопідйомність?
4. Як здійснюється вивірення устаткування за допомогою опорних елементів із металу?
5. Як здійснюється вивірення устаткування на твердих бетонних подушках?
6. Навіщо необхідна підлива устаткування?
7. З якого матеріалу здійснюється підлива устаткування і коли вона виробляється?
8. Які існують способи обпирання сталевих колон на фундаменти?

ВИСНОВКИ

Конструкції анкерних болтів і способи кріплення устаткування до готових фундаментів, бетонних та залізобетонних конструкцій у нашій країні і за кордоном постійно удосконалюються. Аналіз розглянутих у навчальному посібнику конструкцій анкерних болтів і способів кріплення устаткування свідчить про таке. Установка анкерних болтів у пробурені шпари в готових фундаментах і бетонних чи залізобетонних конструкціях є найбільш прогресивним способом анкероустановочних робіт. Цей спосіб дозволяє значно знизити їхню вартість і трудомісткість, підвищити якість, скоротити терміни будівництва.

Застосування знімних самоанкерувачних болтів (ролболти, дуплексанкер, дюбелі типу ТЕП, НШЖБ та ін.) для кріплення технологічного устаткування до готових фундаментів і конструкцій спричиняє значне зниження витрат металу і бетону. Затягування знімних самоанкерувачних болтів усіх типів можливе відразу після їхньої установки в пробурені шпари. Вони можуть бути використані повторно. Основним недоліком знімних самоанкерувачних болтів є складність і висока трудомісткість їхнього виготовлення, а отже велика вартість. Крім того, для установки зазначених болтів необхідно бурити шпари високої точності (відхилення, що допускається, по діаметру болта складає $0,5+2$ мм). Для широкого використання самоанкерувачних болтів потрібно налагодити централізоване виготовлення таких кріплень і організувати постачання їх у комплекті з устаткуванням.

Найбільш прогресивними з погляду технології провадження робіт і економічності є глухі болти, встановлювані в пробурені шпари у фундаментах бетонних чи залізобетонних конструкціях і закріплювані синтетичними клеями, твердими цементно-піщаними сумішами і цементними розчинами. Собівартість їхньої установки в кілька разів нижче собівартості глухих шанцевих болтів і знімних, закладні елементи яких установлюють під час зведення фундаментів.

Спосіб закріплення гладких болтів на готових бетонних і залізобетонних фундаментах і конструкціях за допомогою твердої цементно-піщаної суміші (віброзачеканка) дозволяє робити затягування болтів через троє діб. Недоліком віброзачеканки є необхідність використання спеціального механізму для ущільнення суміші, багатокomпонентність і складність її приготування, достатньо висока трудомісткість.

Способи кріплення глухих гладких анкерних болтів на готових фундаментах за допомогою епоксидних, силоксанових і акрилових клеїв є найбільш прогресивними, економічними і менш трудомісткими.

Особливо значну перевагу дає застосування акрилових клеїв для кріплення анкерних болтів. Використання їх дозволяє значно знизити вартість і трудомісткість анкероустановчих робіт, робити установку анкерних болтів за різних погодних умов і у вологий бетон. Кріплення болтів може здійснюватися до, після і під час установки устаткування на фундамент. Через добу після установки болтів можна робити їхнє затягування. Акриловий клей малокомпонентний, простий і надійний у приготуванні. Завод-виготовлювач поставляє компоненти клею в комплекті, що полегшує організацію забезпечення анкероустановочних робіт. Простота і надійність, низька вартість і технологічність способу кріплення устаткування за допомогою акрилових клеїв дозволяє рекомендувати його до широкого впровадження в будівництво.

Навчальний посібник допоможе студентам будівельних спеціальностей під час вивчення курсу металевих конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич В. Є. Напружено-деформований стан і міцність нерозрізних залізобетонних балок при одноразових і повторних навантаженнях : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : НУВГП, 2005. – 213 с.
2. Басин В. Е. Адгезии полимеров и адгезионные соединения в машиностроении / В. Е. Басин, А. А. Берлин // Механика полимеров. – Рига : Знание, 1969. – № 8. – С. 840–849.
3. Бліхарський З. Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд / З. Я. Бліхарський. – Львів : Львівська політехніка, 2008. – 108 с.
4. Бондаренко В. Л. Справочник электромонтажника / В. Л. Бондаренко, М. Н. Плетник. – Київ : Будівельник, 1986. – 256 с.
5. Брусенцева Т. А. Композиционные материалы на основе эпоксидной смолы и наночастиц / Т. А. Брусенцева, А. А. Филиппов, В. М. Фомин // Известия Алтайского государственного университета. – Барнаул : АлтГУ, 2014. – Вып. № 1 (81). – С. 25–27.
6. Валовой О. І. Критерії міцності бетону для загального випадку напруженого стану / О. І. Валовой, О. Ю. Єрмоменко, М. О. Валовой // Збірник наукових праць ПолтНПолтава : ПолтНТУ, 2013. – № 4 (1). – С. 55–63. – (Серія: Галузеве машинобудування, будівництво).
7. Високоєфективний розпірний анкер «Hilti HSL-3» для високих навантажень [Електрон. ресурс] – Електрон. дані — Режим доступу : <https://www.hilti.ua/Анкерные-крепления/Розпірні-анкери/r2813>, вільний (дата звернення: 05.06.2021). – Назва з екрана.
8. Гамеляк І. П. Удосконалення методики випробувань на втому бетонних перерізів елементів армованих неметалевою композитною базальтопластиковою арматурою / І. П. Гамеляк, Т. І. Коваль // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. – Київ : НТУ, 2017. – Вип. 99. – С. 184–201.
9. Гарбуз А. О. Акриловые клеи повышенной адгезионной прочности и термостойкости / А. О. Гарбуз, С. М. Золотов // Проблема и перспективы ресурсосбережения в жилищно-коммун. хозяйстве : тез. докл. междунар. научн.-практ. конф. – Харьков : ХГАГХ, 1996. – С. 17.
10. Гарбуз А. О. Повышение адгезионной прочности акриловых клеев для строительных конструкций / А. О. Гарбуз // Повышение эффективности и надежности систем городского хозяйства : сб. научн. трудов. – Киев : ИСИО, 1994. – С. 91–93.

11. Гарбуз А. О. Применение модифицированных акриловых клеев в городском хозяйстве / А. О. Гарбуз // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Киев : Техніка, 1996. – Вып. 5. – С. 91–93.

12. Гарбуз А. О. Анкерные соединения на акриловых клеях с повышенной адгезионной прочностью / А. О. Гарбуз // Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве : материалы IV Укр. научн.-техн. конф. – Харьков : ХНАГХ, 1998. – С. 12–14.

13. Гольстрем В. А. Справочник энергетика промышленных предприятий / В. А. Гольстрем, А. С. Иваненко. – Киев : Техника, 1977. – 464 с.

14. Городецкий А. С. К расчету тонкостенных железобетонных конструкций в неупругой стадии / А. С. Городецкий // Строительные конструкции : сб. трудов НИИСК. – Киев : Будівельник, 1965. – № 3. – С. 21–27.

15. Гурьянов А. В. Кратковременная и длительная прочность соединений стали эпоксидным клеем, отвержденным олигоамидом Л-19 / А. В. Гурьянов. – Киев : КИСИ, 1989. – 16 с.

16. ДБН В.2.3–14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. – Чинний від 2006–05–06. – Київ : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 217 с.

17. ДБН В.2.6–98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Чинний від 2009–12–24. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

18. Доброногов В. Г. Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень : навч. посібник / В. Г. Доброногов, І. О. Мікульонок. – Київ : ІСДО, 1995. – 184 с.

19. ДСТУ Б В.2.6–168:2011 (ГОСТ 10922–90, MOD). Арматурні та закладні вироби зварні, з'єднання зварні арматури та закладних деталей виробів залізобетонних конструкцій. – Чинний від 2011–12–30. – Київ : Мінрегіон України, 2012. – 43 с.

20. ДСТУ Б В.2.6–156:2010. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Чинний від 2010–12–28. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.

21. ДСТУ Б В.2.6–2:2009. Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови. – Чинний від 2009–12–29. – Київ : Мінрегіонбуд, 2010. – 34 с.

22. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила та правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT). – Чинний від 2009–12–29. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. – 311 с.

23. Золотов М. С. Напряжение в анкерных соединениях на эпоксидных клеях / М. С. Золотов // Водоснабжение, канализация, гидротехнические сооружения. – Київ : Будівельник, 1970. – Вып. XII. – С. 17–24.

24. Золотов М. С. Экспериментальные исследования анкерных соединений на эпоксидном клее / М. С. Золотов // Водоснабжение, канализация, гидротехнические сооружения. – Київ : Будівельник, 1971. – Вып. XVI. – С. 68–71.

25. Золотов М. С. Кріплення технологічного обладнання і металевих конструкцій до фундаментів та безпека праці : навч. посіб. для студентів будівельних спеціальностей / М. С. Золотов. – Харків : ХНАМГ, 2008. – 285 с.

26. Золотов М. С. Влияние конструктивных факторов крепежного узла на прочность клеевого соединения безанкерного крепления / М. С. Золотов, П. М. Фирсов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : НУВГП, 2015. – Вып. 30. – С. 127–134.

27. Золотов М. С. Исследования прочности клеевого безанкерного крепления на эпоксидных клеях / М. С. Золотов, И. З. Барч // Расчет конструкций подземных сооружений : сб. науч. трудов. – Київ : Будівельник, 1976. – С. 102–106.

28. Опыт применения клеевых соединений в строительстве / М. С. Золотов, Л. Н. Шутенко, Н. А. Псурцева, В. В. Душин. – Харьков : ХИИКС, 1985. – 98 с.

29. Золотов М. С. Сталеклеевые крепления технологических конструкций при реконструкции зданий и сооружений / М. С. Золотов, Л. Н. Шутенко, М. Л. Гревцев // IV Украинская республиканская научно-техническая конференция по металлическим конструкциям : матер. конф. – Київ : Будівельник, 1988. – Часть 4. – С. 16–18.

30. Золотов С. М. Акриловые клеи для крепления анкерами башенных сооружений / С. М. Золотов // Будівельні конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Макіївка : ДонДАБА, 2001. – Вып. 5. – С. 179–182.

31. Золотов С. М. Акриловые клеи для усиления, восстановления и ремонта бетонных и железобетонных конструкций / С. М. Золотов // Будівельні конструкції : зб. наук. праць. – Київ : НДІБК, 2003. – Вып. 59. – С. 440–447

32. Золотов С. М. Влияние модификаторов на адгезионные свойства акриловых клеев / С. М. Золотов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне: УДУВГПК, 2003. – Вып. 9. – С. 54–60.

33. Золотов С. М. Зависимость когезионной прочности акриловых клеев от различных факторов / С. М. Золотов // Будівельні конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Макіївка : ДонДАБА, 2003. – Т. 2. – С. 222–226.

34. Золотов С. М. Исследование структурных изменений акриловой композиции при воздействии различных факторов / С. М. Золотов, О. М. Пустовойтова, Н. А. Псурцева // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Київ : Техніка, 2003. – Вип. 51. – С. 68–73.

35. Золотов С. М. Стойкость акриловых клеев к агрессивным воздействиям / С. М. Золотов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне : Вид-во РДТУ, 2001. – Вип. 7. – С. 41–49.

36. Золотов С. М. Анализ прочностных характеристик сталеклеевых соединений на модифицированных акриловых клеях / С. М. Золотов, П. М. Фирсов // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. – Kosice, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. – Vol. 3. – P. 143–147.

37. Золотов С. М. Адгезионная прочность безанкерного соединения сталь-бетон на модифицированных акриловых клеях при равномерном и неравномерном отрыве / С. М. Золотов, П. М. Фирсов // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. – Харків : ХНУБА, 2015. – Вип. № 4 (82). – С. 102–106.

38. Золотов С. М. Адгезионная прочность клеевых соединений на акриловых модифицированных клеях / С. М. Золотов, П. М. Фирсов // Materials of International scientific and practical conference “Perspective trends in scientific research”, (17–22 of October 2015, Bratislava, Slovak Republic). – Bratislava, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. – Vol. 2 – P. 150–151.

39. Золотов С. М. Акрилові клеї для підсилення, відновлення і ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій / С. М. Золотов // Будівельні конструкції : зб. наук. праць. – Київ : НДІБК, 2003. – Вип. 59. – С. 440–447.

40. Золотов С. М. Акриловые клеи для соединения строительных конструкций : монография / С. М. Золотов. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2016. – 185 с.

41. Золотов С. М. Визначення характеристик міцності сталеклейових з'єднань при багаторазових навантаженнях / С. М. Золотов, П. М. Фирсов, Хамзе Мухамад // Ефективні технології в будівництві : матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції, (28–29 березня 2018 р., Київ). – Київ : КНУБА, 2018. – С. 89–91.

42. Золотов С. М. Витривалість модифікованих клейових з'єднань при багаторазово повторюваних динамічних навантаженнях / С. М. Золотов, П. М. Фірсов // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. – Харків : ХНУБА, 2018. – Вип. № 1 (91). – С. 185–192.

43. Золотов С. М. Життєздатність акрилових клеїв / С. М. Золотов // Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології : зб. наук. праць. – Макіївка : ДонДАБА, 2005. – Вип. 8 (56). – С. 74–79.

44. Золотов С. М. Инновационные материалы на основе акриловых полимеров для восстановления и ремонта конструкций объектов строительства и транспорта / С. М. Золотов // Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта : сб. научн. трудов. – Днепропетровск : ПГАБА, 2004. – Вып. 30. – С. 192–196.

45. Золотов С. М. Исследование напряженно-деформированного состояния соединения сталь-бетон на акриловых клеях / С. М. Золотов, П. М. Фирсов // Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд : матеріали VII Міжнародної наукової конференції, (20–21 жовтня 2015 р., Харків). – Харків : ХНУБА, 2015. – С. 109–111.

46. Золотов С. М. Полимерные связующие, наполнители и модифицирующие добавки акриловых клеев повышенной адгезионной и когезионной прочности / С. М. Золотов, Е. С. Скрипник, М. С. Золотов // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. – Вип. 110. – С. 8–16.

47. Золотов С. М. Реологические исследования и определение адсорбции модифицированных наполнителей метилметакрилата / С. М. Золотов, П. М. Фирсов, К. А. Клиценко // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 161. – С. 157–169.

48. Золотов М. С. Использование акриловых клеев для реконструкции и ремонта зданий и сооружений / М. С. Золотов, Л. Н. Шутенко, А. О. Гарбуз, С. М. Золотов // Будівельні конструкції : зб. наук. праць. – Київ : НДІБК, 2001. – Вип. 54. – С. 810–814.

49. Кардашов Д. А. Эпоксидные клеи / Д.А. Кардашев. – М. : «Химия», 1973. – 192 с.

50. Киянов И. Д. Монтаж технологического оборудования / И. Д. Киянов. – Киев : Будівельник, 1980. – 160 с.

51. Клеевые соединения / В. П. Батизат, А. С. Богданов, И. М. Заманский, А. П. Петрова. – М. : Мир, 1971. – 287 с.

52. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве / Л. Н. Шутенко, М. С. Золотов, В. З. Клименко, Ю. Д. Клименко, И. Г. Черкасский. – Київ : Будівельник, 1990. – 136 с.

53. Климпуш М. Д. Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних балок, підсилених вуглепластиками за багаторазових навантажень / М. Д. Климпуш, В. Г. Кваша // Вісник НУ «Львівська політехніка». – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2009. – № 655. – С. 148–156.

54. Коваленко І. В. Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних виробництв: навч. посіб. / І. В. Коваленко. – Київ : Наукова думка, 2011. – 575 с.

55. Красулин Н. Н. Восстановление железобетонных конструкций, подверженных динамическим нагрузениям / Н. Н. Красулин, И. С. Дуров, В. И. Рак // Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях : сб. научн. трудов. – Вильнюс : Вильнюсский технический университет, 1978. – С. 84–87.

56. Крепление оборудования к готовым фундаментам / Л. Н. Шутенко, М. С. Золотов, Ю. М. Смолянинов, Р. А. Спиранде, Б. Ю. Паги. – Харьков : НТО Стройиндустрия, 1982. – 57 с.

57. Кривенко П. В. Будівельне матеріалознавство : підручник / П. В. Кривенко, К. К. Пушкарьова, В. Б. Барановський. – Київ : ЕксОб, 2004. – 704 с.

58. Кріплення технологічного обладнання і металевих конструкцій до фундаментів та безпека праці : навч. посібник / Л. М. Шутенко, М. С. Золотов, Я. О. Серіков, С. М. Золотов, В. О. Склярів, С. Я. Серіков. – Харків : ХНАМГ, 2008. – 285 с.

59. Лазовский Д. Н. Особенности расчета статически неопределимых железобетонных конструкций методом конечных элементов / Д. Н. Лазовский, Д. О. Глухов, О. Н. Лешкевич // Актуальные проблемы расчета зданий, конструкций и их частей: теория и практика : тез. докл. междунар. научн.-практ. конф. – Минск : УП «Технопринт», 2002 – С. 104–109.

60. Лапенко О. І. Несуча здатність сталезалізобетонних елементів на стиск при склеюванні акриловими клеями / О. І. Лапенко // Проблеми міського середовища : зб. наук. праць. – Київ : НАУ, 2013. – Вип. 10. – С. 71–78.

61. Лапенко О. І. Рациональні згинальні конструкції зі сталевих елементів із заповненими бетоном порожнинами за допомогою склеювання / О. І. Лапенко, П. С. Білокуров, Г. І. Гришко, А. І. Машкова // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків : УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 150. – С. 98–104.

62. Лапенко О. І. Розрахунок сталезалізобетонних конструкцій підсиленних за допомогою епоксидних клеїв / О. І. Лапенко, А. І. Машкова // Збірник наукових праць ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка. – Полтава : ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2014. – Вип. 3 (2). – С. 83–85.

63. Лисенко В. А. Защитно-конструкционные полимеррастворы в строительстве / В. А. Лисенко. – Київ : Будівельник, 1985. – 136 с.

64. Моделирование расслоения в ANSYS Mechanical : Официальный форум ANSYS Club [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cae-club.ru/videos/modelirovanie-rassloeniya-v-ansys-mechanical>, вільний (дата звернення: 05.06.2021). – Назва з екрана.

65. Молодченко Г. А. Влияние глубины заделки на прочность клеевого анкера / Г. А. Молодченко, В. А. Скляр // Моделирование и оптимизация в материаловедении : тез. докл. междунар. семин. «МОК'40». – Одесса : ОГАСА, 2001. – С. 90–91.

66. Молодченко Г. А. Деформативность анкерных болтов на модифицированных акриловых клеях / Г. А. Молодченко, В. А. Скляр // Коммунальное хозяйство городов : науч.- техн. сб. – Киев : Техніка, 2001. – Вып. 27. – С. 175–186.

67. Молодченко Г. А. Длительная прочность анкерных болтов на модифицированных акриловых клеях / Г. А. Молодченко, В. А. Скляр // Ресурсозберігаючі матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне : Вид-во РДТУ, 2000. – Вип. 5. – С. 75–81.

68. Молодченко Г. А. Кратковременная прочность анкерных болтов на модифицированных акриловых клеях / Г. А. Молодченко, В. А. Скляр // Коммунальное хозяйство городов : науч.- техн. сб. – Киев : Техніка, 2000. – Вып. 25. – С. 109–111.

69. Молодченко Г. А. Определение коэффициента основной нагрузки для анкерных болтов на акриловых клеях / Г. А. Молодченко, В. А. Скляр // Ресурсозберігаючі матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне : Вид-во РДТУ, 2001. – Вип. 6. – С. 264–269.

70. Молодченко Г. А. Прочность и усилия предварительной затяжки анкерных болтов на акриловых клеях при динамических нагружениях / Г. А. Молодченко, В. А. Скляр // Коммунальное хозяйство городов : науч.- техн. сб. – Киев : Техніка, 2002. – Вып. 43. – С. 9–16.

71. Молодченко Г. А. Расчетные характеристики анкерных болтов на акриловых клеях / Г. А. Молодченко, В. А. Скляр // Тез. докл. XXXI науч.-

техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХГАГХ. – Харьков : ХГАГХ, 2002. – Ч. 1. – С. 11–13.

72. Молодченко Г. А. Стабильность усилия предварительной затяжки анкерных болтов на акриловых клеях / Г. А. Молодченко, В. А. Скляр // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Киев : Техніка, 2002. – Вып. 39. – С. 74–87.

73. НПАОП 28.52–1.31–13. Правила охорони праці під час зварювання металів. – Чинний від 2012–12–14. – Київ : Держгірпромнагляд України, 2013. – 27 с.

74. Огородніков В. А. Чутливість арматурної сталі до швидкості деформування / В. А. Огородніков, В. Є. Перлов, Ю. С. Бікс // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця : ВПУ, 2009. – № 4. – С. 73–76.

75. Писаренко Г. С. Сопротивление материалов / Г. С. Писаренко, В. А. Агаев, А. Л. Квитка, В. – Киев : Высшая школа, 1979. – 696 с.

76. Пластмаса акрилова самотвердіюча АСТ-Т : Офіційний сайт АТ «СТОМА» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.stoma.kharkov.ua/tehnicheskaya-plast/tehnicheskaya/ast>, вільний (дата звернення: 05.06.2021). – Назва з екрана.

77. Подлегаев И. М. Виброзачеканка гладких анкерных болтов жесткой цементно-песчаной смесью / И. М. Подлегаев, И. З. Барч // Промышленное строительство. – М. : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 1989. – № 4. – С. 16–20.

78. Россель Э. Э. Рекомендации по установке коротких анкерных болтов на цементных растворах для закрепления строительных конструкций и технологического оборудования на готовых фундаментах / Э. Э. Россель, Ю. П. Смирнов, Н. Н. Березин. – Свердловск : Техника, 1975. – 38 с.

79. Синявська О. О. Ряди Фур'є : навч. посіб. / О. О. Синявська, П. В. Слюсарчук. – Ужгород: УжНН, 2015. – 70 с.

80. Скляр В. А. Применение анкерных болтов на акриловых клеях при реконструкции промышленных предприятий / В. А. Скляр, Г. А. Молодченко // Будівельні конструкції : наук.-техн. зб. – Київ : НДІБК, 2001. – Вип. 54. – С. 610–614.

81. Скляр В. А. Жесткость анкерных болтов на акриловых клеях / В. А. Скляр // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. – Харків : ХДТУБА, 2000. – Вип. 10. – С. 67–72.

82. Скляр В. А. Прочность анкерных болтов на акриловых клеях при динамических нагружениях / В. А. Скляр // Моделирование и оптимизация в

материаловедении : тез. докл. междунар. семин. «МОК'41». – Одесса : ОГАСА, 2002. – С. 183.

83. Скляр В. А. Стабильность усилия предварительной затяжки модифицированным акриловым клеем / В. А. Скляр // Научный вестник строительства : сб. науч. пр. – Харьков : ХДТУБА, 2001. – Вып. 12. – С. 101–103.

84. Скляр В. А. Распределение усилий в клеевом анкере при креплении оборудования к фундаментам / В. А. Скляр // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – Киев : Техніка, 1998. – Вып. 16. – С. 24–28.

85. Скрипник Е. С. Изменение когезионных свойств в наполненной акриловой клеевой композиции / Е. С. Скрипник, С. М. Золотов, М. С. Золотов // Сб. докл. междунар. науч. конф. «Унитех 11». – Габрово : Технический университет, 2011. – С. 421–425.

86. Стороженко Л. І. Клейові з'єднання сталі та бетону / Л. І. Стороженко, Ю. О. Давиденко, О. Г. Горб, О. А. Горб // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харьков : УкрДУЗТ, 2015. – Вып. 155. – С. 184–190.

87. Стороженко Л. І. Конструкції залізобетонних перекриттів по профільному настилу із забезпеченням сумісної роботи бетону і сталі за допомогою склеювання / Л. І. Стороженко, О. І. Лапенко, О. Г. Горб // Вісник НУ «Львівська політехніка». – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2010. – № 662. – С. 360–365.

88. Стороженко Л. І. Міцність клейових з'єднань сталі та бетону / Л. І. Стороженко, О. Г. Горб, П. С. Білокур // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харьков : УкрДАЗТ, 2014. – Вып. 149. – С. 113–118.

89. Стороженко Л. І. Розрахунок стиснутих сталезалізобетонних елементів із клейовим з'єднанням бетону і сталі / Л. І. Стороженко, О. Г. Горб // Коммунальное хозяйство міст : науч.-тех. сб. – Харьков : ХНАМГ, 2012. – Вып. 105. – С. 47–54.

90. Фірсов П. М. Витривалість модифікованих клейових з'єднань при багаторазово повторюваних динамічних навантаженнях / П. М. Фірсов, С. М. Золотов // Научный вестник строительства : сб. науч. пр. – Харьков : ХНУБА, 2018. – Вып. 1 (91). – С. 185–192.

91. Фірсов П. М. Методи інженерного розрахунку сталеклейового з'єднання з бетоном при дії різних зусиль / П. М. Фірсов, С. М. Золотов, О. С. Скрипник // Научный вестник строительства : сб. науч. пр. – Харьков : ХНУБА, 2020. – Вып. 1 (99). – С. 184–192.

92. Фірсов П. М. Комп'ютерне моделювання роботи клейових з'єднань сталі та бетону при дії характерних руйнуючих зусиль / П. М. Фірсов,

С. М. Золотов, О. М. Пустовойтова, Мохамад Обеїд // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. – Харків : ХНУБА, 2020. – Вип. 2 (100). – С. 210–218.

93. Фірсов П. М. Математична модель сталеклейового з'єднання з бетоном / П. М. Фірсов, С. М. Золотов, О. В. Кічаєва, Хамзе Мухамад // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. – Харків : ХНУБА, 2019. – Вип. 3 (97). – С. 64–69.

94. Фирсов П. М. Составы улучшенных модифицированных акриловых композиций / П. М. Фирсов // Звітна наук.-практ. конф. ЛугНАУ : тез. доп. – Харків : ЛугНАУ, 2017. – С. 76–77.

95. Фирсов П. М. Экспериментальные исследования кратковременной прочности сталеклеевого безанкерного соединения на акриловых модифицированных композициях / П. М. Фирсов // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків : УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 167. – С. 4–17.

96. Фірсов П. М. Визначення характеристик міцності клейового шва вертикального сталобетонного з'єднання при дії зусиль зсуву та відриву / П. М. Фірсов // Звітна наук.-практ. конф. ЛугНАУ : тез. доп. – Харків : ЛугНАУ, 2018. – С. 79–82.

97. Характерные дефекты опорного узла абсорбционной колонны в производстве неконцентрированной азотной кислоты [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://chemtech.ru/harakternye-defekty-opornogo-uzla-absorbcionnoj-kolonny-v-proizvodstve-nekoncentrirovannoj-azotnoj-kisloty/>, вільний (дата звернення: 05.06.2021). – Назва з екрана.

98. Чупринін О. О. Основи теорії пружності та пластичності: навч. посібник / О. О. Чупринін, Н. А. Засядько, Л. Н. Шутенко. – Харків : ХНАГХ, 2007. – 135 с.

99. Кріплення технологічного обладнання і металевих конструкцій до фундаментів та безпека праці : навч. посіб. / Л. М. Шутенко, М. С. Золотов, Я. О. Серіков, С. М. Золотов, В. О. Склярів, С. Я. Серіков. – Харків : ХНАМГ, 2008. – 285 с.

100. Шмуклер В. С. Новые энергетические принципы рационализации конструкций / В. С. Шмуклер // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків : УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 167. – С. 54–69.

101. Влияние вида нагружения на деформационные свойства анкеровки в бетон арматурных стержней класса А500С акриловыми клеями / Л. Н. Шутенко, М. С. Золотов, В. А. Склярів, Р. Б. Ткаченко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение : сб. научн. тр. – Днепропетровск : ПГАСА, 2009. – Вып. 50. – С. 636–643.

102. Шутенко Л. Н. Крепление оборудования к готовым фундаментам : монография / Л. Н. Шутенко, М. С. Золотов, Ю. М. Смолянинов. – Харьков : ХИИКС, 1982. – 60 с.

103. Терморезактивні смоли холодного затвердіння для відновлення та реконструкції промислових і цивільних будівель : монографія / С. М. Золотов, О. М. Пустовойтова, П. М. Фірсов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 184 с.

104. Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of an epoxy reinforced with boron carbide / J. Abenojar, M. A. Martínez, F. Velasco, J. C. del Real-Romero // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2012. – Vol. 25, Is. 18. – P. 2445–2460.

105. Adams R. D. Adhesive bonding : science, technology and applications / R. D. Adams. – London : Woodhead Publishing in Materials, 2005. – 560 p.

106. Aronovich D. A. Structural acrylic adhesives : a critical review / D. A. Aronovich, L. B. Boinovich // Progress in Adhesion and Adhesives. – 2021. – Vol. 1. – P. 651–708.

107. Bouchet J. The formation of epoxy/metal interphases : mechanisms and their role in practical adhesion / J. Bouchet, A. Roche // The Journal of Adhesion. – 2010. – Vol. 15. – P. 799–830.

108. Adhesive bonding : adhesives, applications and processes / W. Brockmann, P. Geiss, J. Klingen, B. Schroder. – Manchester : WILEY-VCH, 2008. – 432 p.

109. Canovas M. F. Las resinas epoxy en la construccion / M. F. Canovas. – Madrid : Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 1989. – 286 p.

110. Canovas M. F. Refuerzo de elementos estructurales de hormigon armado mediante encolado de bandas de acero con adhesivos epoxidados / M. F. Canovas // Informes de la Construcción. – Madrid : Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 1985. – Vol. 37. – P. 27–38.

111. The effect of surface treatment on the behavior of toughened acrylic adhesive/GRP (epoxy) composite joints / R. Chamochín, M. Cano, M. Pantoja, J. Abenojar, Y. Ballesteros, J. C. del Real-Romero // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2010. – Vol. 24, Is. 11. – P. 1903–1916.

112. Cook R. A. Tensile behavior and design of adhesive-bonded anchors and dowels / R. A. Cook, F. E. Fagundo // Transportation Research Board. – 1993. – Vol. 1392. – P. 126–133.

113. Behavior and design of single adhesive anchors under tensile load in uncracked concrete / R. A. Cook, J. Kunz, W. Fuchs, R. C. Konz // *ACI Structural Journal*. – 1998. – Vol. 95, Is. 1. – P. 9–26.

114. Cook R. A. Behavior of chemically bonded anchors / R. A. Cook // *Journal of Structural Engineering*. – 1993. – Vol. 119, Is. 9. – P. 2744–2762.

115. Adhesive bonding of aluminium with structural acrylic adhesives: durability in wet environments / J. C. del Real-Romero, M. Cano, J. Abenojar, M. A. Martínez // *Journal of Adhesion Science and Technology*. – 2010. – Vol. 20, Is. 16. – P. 1801- 1818.

116. Firsov P. Evaluation of stress-deformed condition level of glued materials for the without anchor steel-concrete joint / P. Firsov, S. Zolotov, Hamze Muhamad // *Springer : Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2019. – CEE 2019. – P. 95–102.

117. Stress-strained state of steel-adhesive bonding on the acrylic adhesives / P. Firsov, S. Zolotov, O. Pustovoitova, S. Kamchatna, H. Kais // *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 708, Is. 1. – 012117.

118. Research of stress-strain state of basalt fiber polymer rods at adhesive anchoring in concrete / P. Firsov, S. Zolotov, O. Kichaeva, Zafari Togian // *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 708, Is. 1. – 012056.

119. Energy efficient materials application in reconstruction of buildings and facilities of transport infrastructure / P. Firsov, S. Zolotov, O. Pustovoitova, E. Orel, S. Kamchatna // *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 1021. – 012032.

120. Firsov P. Strength and deformation of acrylic modified glues / Pavlo Firsov // *Proceedings of International scientific and practical conference “Build Master Class”*. – Kyiv : Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016. – P. 126–127.

121. Girmscheid G. International Vorschriften über zulässige spannung in geklebten segmentfugen / G. Girmscheid // *Bautechnik*. – 1986. – № 4. – S. 133–134.

122. Groppes A. Zur verankerung von faserbundein und stahidrahtsilen in stahihunsen mit kunstharzverguss / A. Groppes // *Bormingenieur*. – 1987. – № 7 – S. 293–304.

123. Fahrenwaldt H. J. Schweißtechnik: verfahren und werkstoffe / H. J. Fahrenwaldt. – Wiesbaden : Klaus Birk, 1994. – 230 s.

124. Hansen W. Die wech der frerindlichen Befestigungstechnik / W. Hansen, J. Parch. – Dortmund : Technik, 1998. – 234 s.
125. Kuczmaszewski J. Fundamentals of metal-metal adhesive joint design / J. Kuczmaszewski. – Lublin : Lublin University of Technology, 2006. – 199 p.
126. Newman A. Foundation and anchor design guide for metal building systems / A. Newman. – Pennsylvania : McGraw Hill Professional, 2013. – 286 p.
127. Rui-Xiang C. Study on bonding properties of PVC-based WPC bonded with acrylic adhesive / C. Rui-Xang, L. Zhang, Y. Li // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2012. – Vol. 26, Is. 24. – P. 2729–2735.
128. Treasaway K.W. Performance of fusion-bonded epoxy-coatege steel reinforcement / K. W. Treasaway, H. Davis // Structural Engineering. – 1999. – Vol. 67, Is. 6. – P. 99-108.
129. Treece R.A. Bond strength of epoxy-coated reinforcing bars / R. A. Treece, J. O. Jirsa // ACI Materials. – 1989. – Vol. 86, Is. 2. – P. 167–174.
130. Polymerization of epoxide with hydroxylamides as thermally latent initiators / W. Yanmei, M. Kimura, A. Sudo, T. Endo // Journal of Polymer Science : Polymer Chemistry. – 2016. – Vol. 54, Is. 16. – P. 2611–2617.
131. Zolotov S. Adhesive on the basis of acrylic compound to join concrete and reinforced concrete elements // Science, Education and Society. – 2003. – Part I. – P. 323–325.

Електронне навчальне видання

ЗОЛОТОВ Сергій Михайлович,
ПУСТОВОЙТОВА Оксана Михайлівна,
ФІРСОВ Павло Михайлович

**ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК СТАЛЕКЛЕЙОВИХ
З'ЄДНАНЬ З БЕТОНОМ**
НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Відповідальний за випуск *А. В. Набока*

Редактор *О. В. Михаленко*
Комп'ютерне верстання *О. М. Пустовойтова*

Підп. до друку 27.09.2022. Формат 60 × 84/16
Ум. друк. арк. 10,9.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.