

новые особенности работы железобетонных конструкций и усовершенствовать характер армирования, доказать целесообразность конструктивных решений фундаментов из жаростойкого бетона без футеровки бортов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Hoffherr K. State of the art in cokemaking and future development//4-th European Coke and Ironmaking Congress Proceedings. 2000. Paris, France. V.2. P. 686-692.
2. СП 52-110-2009 Бетонные и железобетонные конструкции, подвергающиеся технологическим повышенным и высоким температурам. Москва, 2009.
3. СП 27 13330.2011. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Актуализированная редакция СНиП 2.03.04-84. Москва, 2011.-115 с.
4. СТО 36554501-006-2006 Правила по обеспечению огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций ФГУП «НИЦ «Строительство» Москва 2006. – 81 с.
5. СП 52-00-2011 Бетонные и железобетонные конструкции, подвергающиеся технологическим температурным воздействиям. Актуализированная редакция СНиП 2.03.04-84 Москва, 2011.
6. ДСТУ Б Б.2.7-217:2009 Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона.
7. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций после пожара. Москва, 2005. – 121 с.
8. Милованов А.Ф. Железобетонные температуростойкие конструкции. Москва, 2005. - 234 с.
9. Ильин Н.А. Техническая экспертиза зданий, поврежденных пожаром. – М.: Стройиздат, 1983. – 200 с., ил.

УДК 69.002.5

Кугаєвська Т.С., Шультгін В.В.,

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Сопов В.П.

Харківський національний університет будівництва і архітектури

ТЕПЛОВІ БАЛАНСИ КАМЕРИ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ ГІДРАТАЦІЇ ЦЕМЕНТУ

Вступ. Застосування хімічних добавок - прискорювачів твердіння бетонних виробів дозволяє не тільки зменшити тривалість їх теплової обробки, а у деяких випадках відмовитися від використання теплоносія. Аналіз умов, за яких доцільно здійснювати теплову обробку бетонних виробів тільки з використанням теплоти, що виділяється при гідратації цементу, здійснюється на основі низки досліджень, серед яких – аналіз теплових балансів камери.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Теплові баланси камер для теплової обробки бетонних або залізобетонних виробів із використанням пари та інших теплоносіїв наведено, зокрема, в джерелах [1–5]. Дослідження процесів тепло-

і масообміну в цих виробках при теплово-логічній обробці відображено зокрема, в роботах [1,6–9].

Процеси тепло- і масообміну під час теплової обробки бетонних та залізобетонних виробів тільки з використанням внутрішнього джерела теплоти – екзотермічних реакцій гідратації цементу, мають певні відмінності порівняно з прискоренням твердіння цих виробів із застосуванням теплоносія.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У статті [10] показано основні складові теплових балансів камери, в якій теплова обробка гідроізолюваних бетонних виробів здійснюється тільки з використанням теплоти, що виділяється при гідратації цементу. У цій статті аналізується можливість експериме-

нтального прогнозування зміни температури бетонних виробів при їх твердінні без використання теплоносія в теплий період року. Алгоритм здійснення розрахунків теплових балансів камери не наведено.

Постановка завдання. Мета роботи – розроблення алгоритму розрахунків процесів теплообміну в камері для теплової обробки гідроізольованих бетонних виробів тільки з використанням теплоти гідратації цементу.

Основний матеріал і результати. Температурний режим процесу теплової обробки гідроізольованих бетонних виробів із використанням тільки теплоти гідратації цементу, обумовлюється низкою чинників, серед яких:

- склад бетонної суміші та її початкова температура;
- теплотехнічні властивості конструкцій, що огорожують теплову камеру;
- початкова температура цих конструкцій;
- теплотехнічні властивості теплоізоляційної конструкції, якою накриваються вироби (за умови, що така конструкція застосовується);
- початкова температура цієї конструкції;
- температура повітря цеху.

Температурні показники складових камери взаємозалежні. Нижче відображено приклади їх взаємного впливу.

Приклад 1. Припустимо, що початкова температура гідроізольованих бетонних виробів, форм, теплоізоляційної конструкції, а також конструкцій, що огорожують камеру, та устаткування камери однакова. Між поверхнями теплоізоляційної конструкції та поверхнями форм з виробами наявні повітряні прошарки.

Унаслідок гідратації цементу підвищується температура бетону, що зумовлює інтенсифікацію цього процесу. Результатом подальшого зростання температури бетону є збільшення різниці температур між поверхнями форм з бетонними виробами та внутрішніми поверхнями теплоізоляційної конструкції. Цей фактор призводить до збільшення інтенсивності променевого теплообміну між вказаними поверхнями та до збільшення інтенсивності

відповідного конвективного теплообміну з повітрям камери, внаслідок чого в певній мірі знижується температура бетону і, відповідно, зменшується інтенсивність гідратації цементу, а температура поверхонь теплоізоляційної конструкції підвищується. Внаслідок нагрівання теплоізоляційної конструкції зменшується різниця температур між її внутрішніми поверхнями і поверхнями форм з бетонними виробами, що призводить до зменшення інтенсивності променевого теплообміну між цими поверхнями та до зменшення відповідного конвективного теплообміну; і т. ін. Слід підкреслити, що при зміні температури поверхонь теплоізоляційної конструкції, розташованих з протилежної (по відношенню до бетонних виробів) сторони, відбувається теплообмін між цими поверхнями та відповідним середовищем.

Передача теплоти від нагрітих поверхонь форм з бетонними виробами до відповідних внутрішніх поверхонь теплоізоляційної конструкції здійснюється внаслідок променевого теплообміну. Крім того, форми з бетонними виробами нагрівають повітря внаслідок наявності конвективного теплообміну (конвекції, яка супроводжується теплопровідністю). Від нагрітого повітря до внутрішніх поверхонь теплоізоляційної конструкції здійснюється передача теплоти шляхом конвективного теплообміну.

Приклад 2. Припустимо, що початкова температура гідроізольованих бетонних виробів і форм вища, ніж температура теплоізоляційної конструкції, конструкцій, що огорожують камеру, та устаткування камери. Спрямованість теплових потоків в камері буде такою, як і в попередньому випадку, але інтенсивність зростання температури бетону – меншою, оскільки більшою буде різниця між температурою поверхонь форм з бетонними виробами і відповідними внутрішніми поверхнями теплоізоляційної конструкції.

Приклад 3. Припустимо, що: початкова температура гідроізольованих бетонних виробів і форм нижча, ніж початкова температура теплоізоляційної конструкції; температура теплоізоляційної конструкції та конструкцій, що огорожують

камеру, а також обладнання камери – однакова.

Внаслідок гідратації цементу підвищується температура бетону, що зумовлює інтенсифікацію цього процесу. Результатом є зменшення різниці температур між внутрішніми поверхнями теплоізоляційної конструкції та поверхнями форм з бетонними виробами. Цей фактор призводить до: зменшення інтенсивності нагрівання бетонних виробів і форм (обумовленого променевим теплообміном між вказаними вище поверхнями та відповідним конвективним теплообміном з повітрям камери); зменшення інтенсивності остигання теплоізоляційної конструкції; і т. ін. Необхідно зазначити, що при зміні

температури поверхонь теплоізоляційної конструкції, розташованих з протилежної (по відношенню до бетонних виробів) сторони, відбувається теплообмін між цими поверхнями та відповідним середовищем.

Розглядається камера, в якій здійснюється теплова обробка гідроізольованих залізобетонних плит із використанням тільки внутрішнього джерела теплоти – екзотермічних реакцій гідратації цементу (рис.1). У камері наявна додаткова теплоізоляційна конструкція. До складу конструкції входять: стінки; перекриття; шар теплоізоляції підлоги камери, котрий розміщено в просторі між формою та устаткуванням, на яке форма опирається.

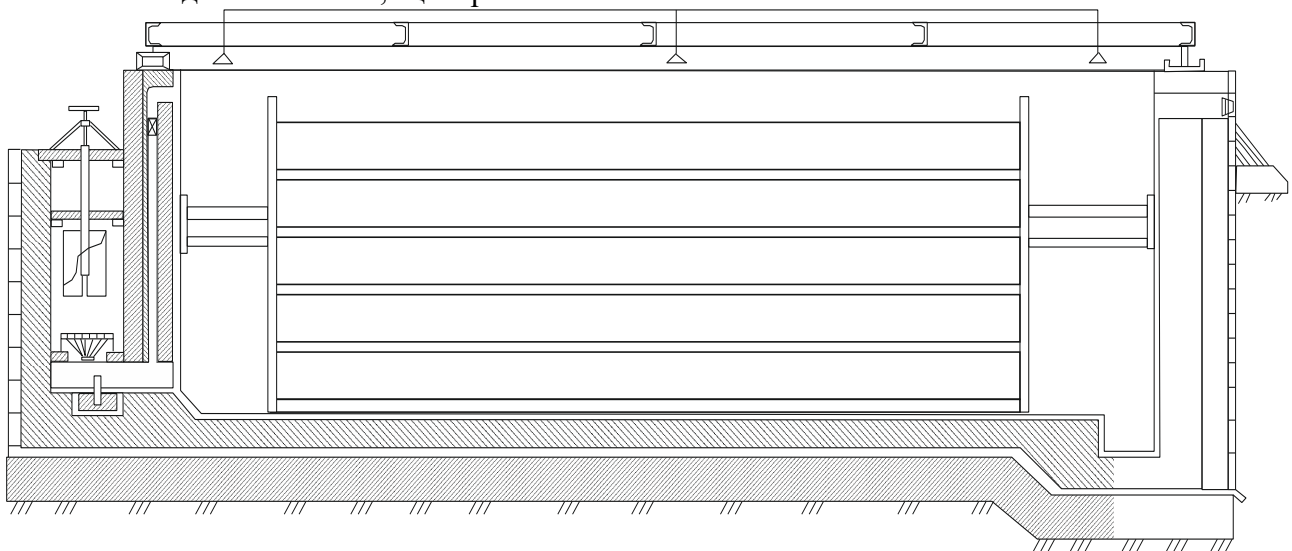


Рис.1. Схематичне зображення камери теплової обробки

Між внутрішніми поверхнями теплоізоляційної конструкції і формами з бетонною сумішшю є повітряні прошарки. Прийнято, що початкова температура гідроізольованих бетонних виробів, форм, теплоізоляційної конструкції, а також конструкцій, що огорожують камеру, та устаткування камери однакова. Маса гідроізоляційного матеріалу порівняно з іншими складовими системи, що досліджується, невелика, і нею в розрахунках нехтують. У камері може бути розташовано обладнання, призначене для подачі теплоносія в холодний період року.

Послідовність обчислення процесів теплообміну в камері наступна.

1. Температурне поле в камері – нестационарне, тому тривалість періоду, впродовж якого досліджується зміна температури залізобетонних плит, розділяється на певні проміжки часу.

2. Обчислюється зміна температури бетонної суміші, арматури, форм і устаткування та інтенсивність прогрівання теплоізоляційної конструкції впродовж першого проміжку часу.

2.1 Для першого проміжку часу або складається тепловий баланс камери або складаються теплові баланси зон камери.

Загальний вигляд теплового балансу камери для першого проміжку часу:

$$Q_{E1} = Q_{B1} + Q_{A1} + Q_{F1} + Q_{U1} + Q_{ST1} + Q_{PR1} + Q_{PD1}, \quad (1)$$

де Q_{E1} – кількість теплоти, що виділяється при гідратації цементу впродовж першого

проміжку часу, Дж; $Q_{Б1}$, $Q_{А1}$, $Q_{Ф1}$, $Q_{У1}$ – витрати теплоти впродовж першого проміжку часу на нагрівання бетонної суміші, арматури, форм та устаткування, на яке опираються форми, Дж; $Q_{СТ1}$, $Q_{ПР1}$, $Q_{ПД1}$ – витрати теплоти впродовж першого проміжку часу на нагрівання складових теплоізоляційної конструкції: стінок, перекриття та шару теплоізоляції підлоги камери, Дж (нагрівається їх частка по товщині).

Загальний вигляд теплових балансів зон камери для першого проміжку часу. Товщини повітряних прошарків між формами порівняно невеликі. Тому приймається спрощення: температура в повітряному прошарку між проміжними формами дорівнює температурі поверхонь, які його обмежують. Тобто, проміжні форми здійснюють теплообмін з навколишнім середовищем тільки через вертикальні поверхні.

Верхня і нижня форми з бетонною сумішшю передають частку теплоти навколишньому середовищу не лише через вертикальні поверхні, а також і через горизонтальні поверхні: верхня форма – через відкриту поверхню сформованого бетонного виробу, нижня – через поверхню днища форми.

Слід зазначити, що температура верхньої форми з бетонною сумішшю та температура форми, розташованої нижче неї, відрізняються. Тому між цими формами відбувається теплообмін. Температура нижньої форми та форми, розташованої над нею, не є однаковою. Відповідно і між цими формами відбувається теплообмін. У випадку, що розглядається, прийнято спрощення: наявністю вказаного теплообміну нехтують.

Камера може бути по висоті умовно розділена на зони – верхню, проміжну та нижню. Теплові баланси для першого проміжку часу мають вигляд:

– верхньої зони камери:

$$Q_{ЕВ1} = Q_{БВ1} + Q_{АВ1} + Q_{ФВ1} + Q_{УВ1} + Q_{СВ1} + Q_{ПР1}, \quad (2)$$

– проміжної зони камери:

$$Q_{ЕП1} = Q_{БП1} + Q_{АП1} + Q_{ФП1} + Q_{УП1} + Q_{СП1}, \quad (3)$$

– нижньої зони камери:

$$Q_{ЕН1} = Q_{БН1} + Q_{АН1} + Q_{ФН1} + Q_{УН1} + Q_{СН1} + Q_{ПД1}, \quad (4)$$

де $Q_{ЕВ1}$, $Q_{ЕП1}$, $Q_{ЕН1}$, – кількість теплоти, що виділяється при гідратації цементу впродовж першого проміжку часу відповідно у верхній, проміжній та нижній зонах, Дж; $Q_{БВ1}$, $Q_{БП1}$, $Q_{БН1}$ – витрати теплоти впродовж першого проміжку часу на нагрівання бетонної суміші відповідно верхньої, проміжної та нижньої зон, Дж; $Q_{АВ1}$, $Q_{АП1}$, $Q_{АН1}$ – витрати теплоти впродовж першого проміжку на нагрівання арматури відповідно верхньої, проміжної та нижньої зон, Дж; $Q_{ФВ1}$, $Q_{ФП1}$, $Q_{ФН1}$ – витрати теплоти впродовж першого проміжку на нагрівання форм відповідно верхньої, проміжної та нижньої зон, Дж; $Q_{УВ1}$, $Q_{УП1}$, $Q_{УН1}$ – витрати теплоти впродовж першого проміжку часу на нагрівання устаткування, на яке опираються форми, відповідно верхньої, проміжної та нижньої зон, Дж; $Q_{СВ1}$, $Q_{СП1}$, $Q_{СН1}$ – витрати теплоти впродовж першого проміжку часу на нагрівання стінок теплоізоляційної конструкції відповідно верхньої, проміжної та нижньої зон, Дж; пояснення до величин $Q_{ПР1}$, $Q_{ПД1}$ наведено вище.

2.2 Визначається кількість теплоти, що виділяється при гідратації цементу впродовж першого проміжку часу.

Кількість теплоти, що виділяється при гідратації цементу Q_E залежить від температури тверднучого бетону (за інших рівних обставин). Температура бетону в свою чергу залежить від співвідношення складових теплового балансу (теплових балансів зон) камери, зокрема, від кількості теплоти Q_E . Спершу тепловиділення цементу при гідратації Q_E визначається при початковій для кожного періоду часу температурі бетонних виробів (за попередньо отриманими експериментальними даними). Надалі ця температура уточнюється.

2.3 Складаються додаткові рівняння, які враховують зміну середньої температури бетонної суміші, арматури, форм та устаткування (на яке опираються форми) впродовж першого проміжку часу.

У наведених нижче рівняннях прийнято спрощення: використовуються середньозважені значення фізичних величин

матеріалів системи, до складу якої входять: сформований бетонний виріб, арматура, форма та устаткування.

Якщо в обчисленнях не здійснюється умовне розділення камери на зони, то:

$$Q_{Б1} + Q_{А1} + Q_{Ф1} + Q_{У1} (c_c \cdot m_c \cdot (t_{К1} - t_{нc}) \cdot \beta_1) \times n; \quad (5)$$

тоді

$$Q_{Е1} = (c_c \cdot m_c \cdot (t_{К1} - t_{нc}) \cdot \beta_1) \times n + Q_{СТ1} + Q_{ПР1} + Q_{ПД1}. \quad (6)$$

де c_c – середня (середньозважена) питома масова теплоємність матеріалів системи, до складу якої входять: бетонні вироби, розташовані в камері, арматура, форми та устаткування, Дж/(кг·°C); m_c – сумарна маса бетонних виробів (бетонної суміші), арматури, форм, устаткування, кг; $t_{К1}$ – середня температура системи, що досліджується, наприкінці першого проміжку часу, °C; $t_{нc}$ – температура навколишнього середовища, °C; n – кількість залізобетонних плит в камері; β_1 – коефіцієнт, котрий враховує, яку частку теплоти віддає за перший проміжок часу система (відносно кількості теплоти, яку віддає система в навколишнє середовище при її остиганні до температури $t_{нc}$); коефіцієнт β (β_1) визначається за довідниковими даними, наведеними, зокрема, в джерелі [11].

Якщо в обчисленнях здійснюється умовне розділення камери на зони, то:

$$\begin{aligned} &\text{– для верхньої зони камери:} \\ &Q_{БВ1} + Q_{АВ1} + Q_{ФВ1} + Q_{УВ1} = \\ &= c \cdot m \cdot (t_{ВК1} - t_{нc}) \cdot \beta_{В1}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &\text{– для проміжної зони камери:} \\ &Q_{БП1} + Q_{АП1} + Q_{ФП1} + Q_{УП1} = \\ &= (c \cdot m \cdot (t_{ПК1} - t_{нc}) \cdot \beta_{П1}) \times (n - 2); \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} &\text{– для нижньої зони камери:} \\ &Q_{БН1} + Q_{АН1} + Q_{ФН1} + Q_{УН1} = \\ &= c \cdot m \cdot (t_{НК1} - t_{нc}) \cdot \beta_{Н1}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} &\text{тоді} \\ &Q_{ЕВ1} = c \cdot m \cdot (t_{ВК1} - t_{нc}) \cdot \beta_{В1} + \\ &+ Q_{СВ1} + Q_{ПР1}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$Q_{ЕП1} = (c \cdot m \cdot (t_{ПК1} - t_{нc}) \cdot \beta_{П1}) \times (n - 2) + Q_{СП1}, \quad (11)$$

$$Q_{ЕН1} = c \cdot m \cdot (t_{НК1} - t_{нc}) \cdot \beta_{Н1} + Q_{СН1} + Q_{ПД1}, \quad (12)$$

де c – середня (середньозважена) питома масова теплоємність матеріалів системи, до складу якої входять: бетонний виріб, арматура, форма та устаткування,

Дж/(кг·°C); m – сумарна маса бетонної суміші, арматури, форми та устаткування, кг; $t_{ВК1}$, $t_{ПК1}$, $t_{НК1}$ – середні температури систем наприкінці першого проміжку часу відповідно у верхній, проміжній та нижній зонах камери, °C; $\beta_{В1}$, $\beta_{П1}$, $\beta_{Н1}$ – коефіцієнти, котрі враховують, яку частку теплоти віддають в навколишнє середовище за перший проміжок часу системи, що досліджується (відносно кількості теплоти, яку б віддала в навколишнє середовище кожна система при її остиганні до температури $t_{нc}$).

2.4 Складаються рівняння для визначення витрат теплоти на нагрівання теплоізоляційної конструкції.

2.5 За допомогою або загального теплового балансу камери або теплових балансів зон камери методом послідовного наближення визначається зміна температури бетонної суміші, арматури, форм і устаткування та інтенсивність прогрівання теплоізоляційної конструкції.

Аналогічно розглядаються наступні проміжки часу.

Якщо впродовж терміну теплової обробки бетонних виробів теплоізоляційна конструкція прогріється по товщині повністю, то в теплових балансах враховується наявність теплообміну між поверхнями теплоізоляційної конструкції, розташованих з протилежної (по відношенню до бетонних виробів) сторони, та відповідним середовищем.

Висновки. Розроблено алгоритм розрахунків процесів теплообміну в камері для теплової обробки бетонних виробів тільки з використанням теплоти, що виділяється при гідратації цементу.

Надалі необхідно проаналізувати розподіл температури у бетонних виробках при їх твердінні в умовах, що досліджуються.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Марьямов Н.Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона / Н.Б. Марьямов. – М.: Издат. лит. по строительству, 1970. – 272 с.
2. Бойко В.Е. Тепловая обработка в производстве сборного железобетона / В.Е. Бойко, Е.В. Тихомиров. – К.: Будівельник, 1987. – 144 с.

3. Кучеренко А.А. Тепловые установки заводов сборного железобетона. Проектирование и примеры расчёта. – К.: Вища школа, 1977. – 280 с.
4. Коц І.В. Ексергетичний аналіз теплових процесів технології виготовлення будівельних виробів [Електронний ресурс] / І.В. Коц, О.П. Колісник. – Режим доступу: <http://stmkvb.vntu.edu.ua/article/view/3199/4827>.
5. Колісник О.П. Використання аеродинамічного нагрівання при тепловологісній обробці бетонних дорожніх конструкцій [Електронний ресурс] / О.П. Колісник, І.В. Коц. – Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/avtdb_90.pdf.
6. Александровский С.В. Расчёт бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия (с учётом ползучести) / С.В. Александровский. – М.: Стройиздат, 1973. – 432 с.
7. Федосов С.В. Моделирование прогрева стеновых панелей при термической обработке / С.В. Федосов, В.Е. Мизонов, Е.А. Баранцева, Ю.Г. Грабарь, И.В. Новинский, Д.Ю. Фоломеев // Строительные материалы. – 2007. – № 2. – С. 86, 87.
8. Шестаков Н.И. Методика расчёта термо- и влагонапряжённого состояния бетонных плит, подвергаемых тепловлажностной обработке / Н.И. Шестаков, К.В. Аксенчик // Строительные материалы. – 2012. – № 11. – С. 77 – 80.
9. Аксенчик К.В. Моделирование и расчёт тепло- и массообменных процессов в бетоне при тепловлажностной обработке [Электронный ресурс] / К.В. Аксенчик // Режим доступа: http://euroasia-science.ru/files/arhiv/27-28.03.2015/evro_12_p4.pdf.
10. Кугаєвська Т.С. Аналіз можливості прогнозування зміни температури бетонних виробів при їх твердінні без використання теплоносія в теплий період року / Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін // Збірник наукових праць (Галузеве машинобудування. Будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 1 (36), т. 2. – Полтава, ПолтНТУ, 2013. – С. 70 – 75.
11. Волков О.Д. Проектирование вентиляции промышленного здания / О.Д. Волков. – Харьков: Вища школа, 1989. – 240 с.

УДК 622.691.4

Редько О.Ф., Чайка Ю.І., Бурда Ю.О.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ДИСПЕРСНІСТЬ КРАПЕЛЬ У СКРУБЕРАХ НАСАДКОВОГО ТИПУ

Скрубери - апарати для промивання рідинами газів з метою їх очистки і для видалення з суміші газів одного або декількох компонентів, а також барабанні машини для промивання корисних копалин. Широко використовуються при уловлюванні продуктів коксування та очищенні промислових газів від пилу, для зволоження і охолодження газів, в різних хіміко-технологічних процесах (рис 1) [1].

Процес мокрого пиловловлення застосований на контактні запыленного газового потоку з рідиною, яка захоплює зважені частинки і забирає їх з апарату у вигляді шламу. Метод мокрого очищення газів від пилу вважається досить простим і в той же

час досить ефективним способом знепилювання [2].

Процес очищення газів від зважених часток у мокрих газоочисних апаратах супроводжується зазвичай процесами абсорбції та охолодження газів [3].

Переваги мокрих пиловловлювачів перед апаратами інших типів:

- порівняно невелика вартість і більш висока ефективність уловлювання зважених часток в порівнянні з сухими механічними апаратами;
- застосування для очищення газів від частинок розміром до 0,1 мкм;
- охолодження (контактний обмін) і зволоження (кондиціонування) газів;