

Кугаєвська Т.С., Шульгін В.В.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ПРОЦЕСИ ТЕПЛООБМІНУ В КАМЕРІ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ НАГРІТИМ ПОВІТРЯМ

Вступ. Одним із способів зменшення собівартості бетонних та залізобетонних виробів є використання сонячної енергії при їх тепловій обробці. Застосування в цьому процесі повітря, нагрітого в колекторі сонячної енергії, зумовлює необхідність внесення певних конструктивних змін у відповідні установки. Вибір оптимальних конструктивних рішень установок для теплової обробки бетонних виробів нагрітим повітрям ґрунтується на кількісному аналізі процесів теплообміну в них.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Дослідження процесів тепло- і масообміну в різних установках для геліотермообробки бетонних виробів відображено в низці робіт ([1 – 8] та ін.).

У книзі [1] вказано, що прогрівання радіаційним потоком в геліоформах під світлопрозорим теплоізолюючим покриттям бетонних зразків і виробів товщиною до 300 – 400 мм здійснюється при м'яких режимах, а саме: швидкість підйому температури бетону складає 5-7°С/год; тривалість ізотермічного витримування при максимальній температурі 60 – 70 °С становить 5 – 7 год; остигання до температури 35 – 50°С здійснюється зі швидкістю 1,5 – 2,5 °С/год (залежно від масивності виробів, марки бетону, температури навколишнього середовища і т. ін.). Такі режими створюють сприятливі умови твердіння, які позитивно впливають на формування структури і властивостей бетону.

У статті [3] підкреслено, що бетони, прискорення твердіння яких відбувалося за допомогою комбінованого способу геліотермообробки, мали міцність при стиску і розтягу вище міцності пропарених бетонів. Це пояснюється більш сприятливими режимами прогрівання при більш низьких температурах [3].

У патенті [7] зазначено, що впродовж сонячного дня в геліоустановці, при-

значеній для термообробки бетонних і залізобетонних виробів, температура підвищується до 50 – 90°С. При цьому відбувається випаровування вологи з виробів і в ємкості утворюється пара та підвищується тиск. Підвищення тиску сприяє проникненню пари в пори виробів. У вечірні та нічні години розігріті бетонні днище, стінка і причілкові сторони геліоустановки підтримують підвищену температуру у виробках [7].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У патенті [9] запропоновано здійснювати теплову обробку гідроізольованих бетонних і залізобетонних виробів за допомогою нагрітого в колекторі сонячної енергії повітря (додаткове джерело теплоти – повітрянагрівач). Для проектування відповідних установок необхідно проаналізувати процеси теплообміну в них.

Постановка завдання. Мета роботи – розглянути процеси теплообміну між гідроізольованими блоками бетонних виробів при тепловій обробці цих виробів повітрям, нагрітим в колекторі сонячної енергії або в повітрянагрівачі.

Основний матеріал і результати. Розглядається теплообмін в камері для теплової обробки бетонних тротуарних плиток нагрітим в колекторі сонячної енергії повітрям. Плитки розташовано на полицях. Кожен блок виробів гідроізольовано.

Тепловий баланс камери для теплової обробки бетонних виробів нагрітим повітрям для і-го проміжку часу має вигляд $Q_{KH} + Q_E = Q_{KB} + Q_{ГБ} + Q_{КС} + Q_{КП} + Q_{ПД} + Q_{СН} + Q_{ПН} + Q_{ГР} + Q_0$, (1) де Q_H – кількість теплоти, що надходить до камери з нагрітим повітрям, Дж; Q_E – надходження теплоти внаслідок наявності екзотермічних реакцій гідратації цементу, Дж (визначається за експериментальними даними); Q_{KB} – втрати теплоти з повітрям, що видаляється з камери, Дж; $Q_{ГБ}$ – ви-

трати теплоти на нагрівання гідроізолюваних блоків виробів, Дж; $Q_{КС}$, $Q_{КП}$, $Q_{ПД}$ – витрати теплоти на нагрівання стін, перекриття та підлоги камери, Дж; $Q_{СН}$, $Q_{ПН}$ – витрати теплоти в навколишнє середовище крізь стіни та перекриття камери, Дж (за умови наявності цих втрат в і-й проміжок часу); $Q_{ГР}$ – витрати теплоти на нагрівання ґрунту, Дж (за умови наявності цих втрат в і-й проміжок часу); $Q_{О}$ – витрати теплоти на нагрівання обладнання камери (опор гідроізолюваної системи, повітропроводів), Дж.

Якщо в камері одночасно здійснюється теплова обробка бетонних тротуар-

них плиток кількох типорозмірів, то температура складових верхнього, проміжних та нижнього блоку виробів буде різною, що враховано в представлених нижче теплових балансах.

На рис. 1 схематично відображено складові теплових балансів камери. Наведені на рис. 1 величини $Q_{ПСК}$ (кількість теплоти, що передається від нагрітого повітря до стін камери), $Q_{ПП}$ (кількість теплоти, що передається від нагрітого повітря до перекриття камери) та $Q_{ПД}$ (кількість теплоти, що передається від нагрітого повітря до підлоги камери) є складовими теплових балансів конструкцій, що огорожують камеру.

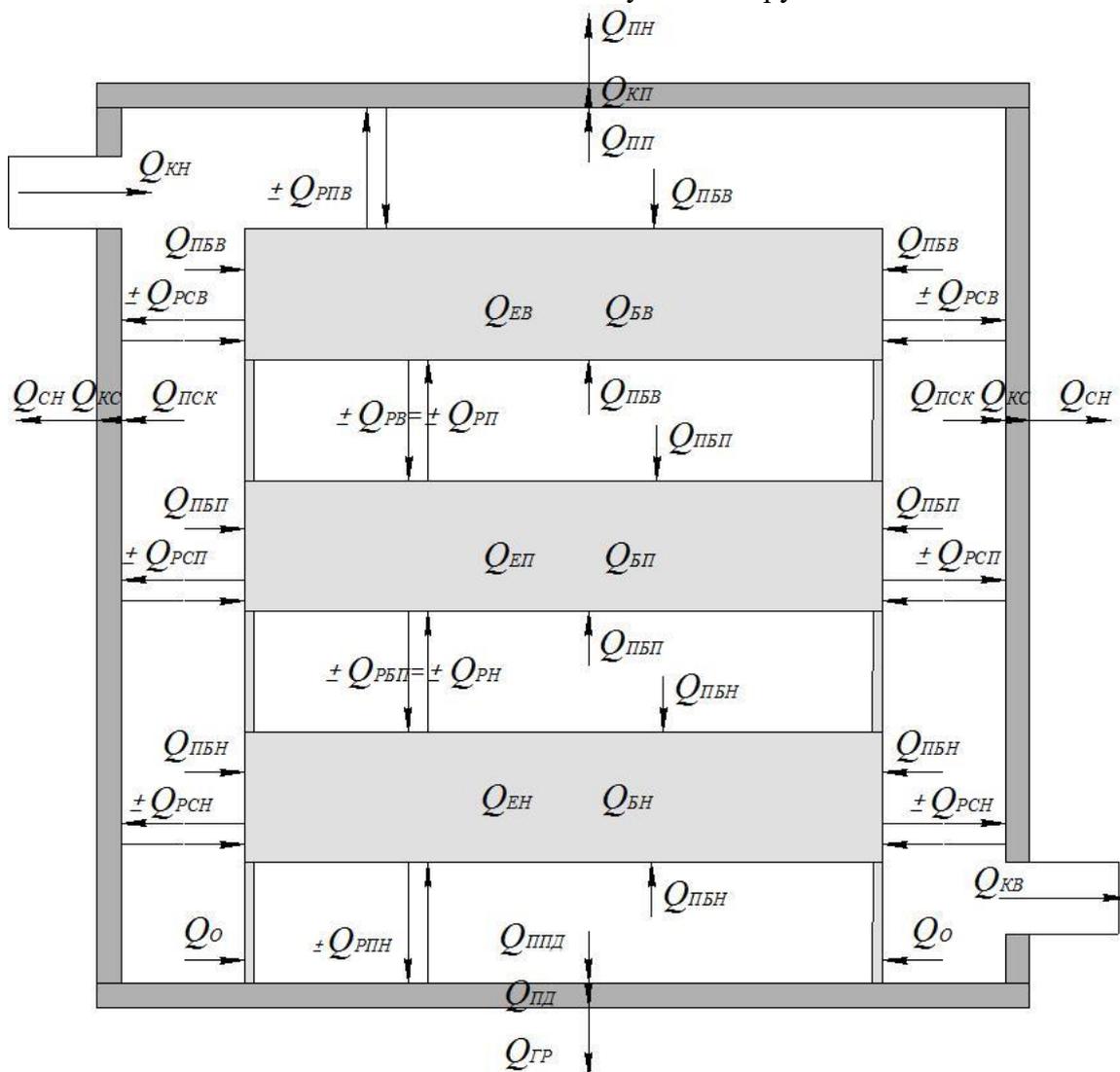


Рис. 1. Схематичне відображення складових теплових балансів камери

Тепловий баланс верхнього гідроізолюваного блоку виробів для і-го проміжку часу має вигляд

$$Q_{БВ} = c_{БВ} \cdot m_{БВ} \cdot (t_{БВК} - t_{БВП}) = Q_{ПВБ} + Q_{ЕВ} \pm Q_{РСВ} \pm Q_{РПВ} \pm Q_{РВ}, \quad (2)$$

де $Q_{БВ}$ – витрати теплоти на нагрівання верхнього блоку виробів, Дж;

$c_{БВ}$ – середня питома масова теплоємність матеріалів верхнього блоку виробів, Дж/(кг·°C); $m_{БВ}$ – маса складових верхнього блоку виробів, кг; $t_{БВП}$, $t_{БВК}$ – середня температура складових верхнього блоку виробів на початку та наприкінці і-го проміжку часу, °C; $Q_{ПБВ}$ – кількість теплоти, яку сприймає верхній блок виробів від нагрітого повітря, Дж; $Q_{ЕВ}$ – надходження теплоти внаслідок наявності екзотермічних реакцій гідратації цементу у верхньому блоці виробів, Дж; $Q_{РСВ}$ – кількість теплоти, Дж, що передається внаслідок наявності результуючого випромінювання від вертикальних поверхонь верхнього блоку виробів до відповідних внутрішніх поверхонь стін камери (або в зворотному напрямку); $Q_{РПВ}$ – кількість теплоти, Дж, що передається внаслідок наявності результуючого випромінювання від оберненої вгору горизонтальної поверхні верхнього блоку виробів до внутрішньої поверхні перекриття камери (або в зворотному напрямку); $Q_{РВ}$ – кількість теплоти, Дж, що передається внаслідок наявності результуючого випромінювання від оберненої вниз горизонтальної поверхні верхнього блоку виробів до оберненої вгору горизонтальної поверхні розташованого нижче блоку виробів (або в зворотному напрямку).

Напрямок потоку результуючого випромінювання залежить від співвідношення між температурами вказаних поверхонь.

Складові рівняння (2) взаємозалежні, тому приймаються спрощення при визначенні за допомогою цього теплового балансу зміни температури бетонних виробів за і-й проміжок часу.

У довідниковій літературі (зокрема, в джерелі [10]) наведено наступну залежність для визначення кількості теплоти Q , Дж, яку сприймає матеріал від повітря за певний проміжок часу:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_{нс} - t_{мп}) \cdot \beta, \quad (3)$$

де c – питома масова теплоємність матеріалу, Дж/(кг·°C); m – маса матеріалу, кг; $t_{нс}$ – температура навколишнього середовища, °C; $t_{мп}$ – початкова температура матеріалу, °C; β – коефіцієнт, котрий враховує, яку частку теплоти сприймає

матеріал за вибраний проміжок часу (відносно кількості теплоти, необхідної для нагрівання матеріалу до температури навколишнього середовища); коефіцієнт β визначається за довідниковими даними за допомогою критерію Фур'є Fo .

Для використання вищенаведених формул запропоновано спрощення: застосовуються середні фізичні параметри матеріалів гідроізольованих блоків (з урахуванням частки маси кожного матеріалу в масі блоку).

Тоді кількість теплоти $Q_{ПБВ}$, яку сприймає верхній гідроізольований блок виробів від нагрітого повітря за і-й проміжок часу, Дж, дорівнює

$$Q_{ПБВ} = c_{БВ} \cdot m_{БВ} \cdot (t_{п} - t_{БВП}) \cdot \beta_{В}, \quad (4)$$

де $t_{п}$ – середня за і-й проміжок часу температура повітря в камері, °C; $t_{БВП}$ – середня температура складових верхнього блоку виробів на початку і-го проміжку часу, °C; $\beta_{В}$ – коефіцієнт, котрий враховує, яку частку теплоти сприймає верхній блок виробів за і-й проміжок часу (відносно кількості теплоти, необхідної для нагрівання блоку до температури $t_{п}$).

Тепловий баланс проміжного гідроізольованого блоку виробів для і-го проміжку часу має вигляд

$$Q_{БП} = c_{БП} \cdot m_{БП} \cdot (t_{БПК} - t_{БПП}) = Q_{ПБП} + Q_{ЕП} \pm Q_{РСП} \pm Q_{РП} \pm Q_{РБП}, \quad (5)$$

де $Q_{БП}$ – витрати теплоти на нагрівання проміжного блоку виробів, Дж; $c_{БП}$ – середня питома масова теплоємність матеріалів проміжного блоку виробів, Дж/(кг·°C); $m_{БП}$ – маса складових проміжного блоку виробів, кг; $t_{БПК}$, $t_{БПП}$ – середня температура складових проміжного блоку виробів на початку та наприкінці і-го проміжку часу, °C; $Q_{ПБП}$ – кількість теплоти, яку сприймає проміжний блок виробів від нагрітого повітря, Дж; $Q_{ЕП}$ – надходження теплоти внаслідок наявності екзотермічних реакцій гідратації цементу у проміжному блоці виробів, Дж; $Q_{РСП}$ – кількість теплоти, Дж, що передається внаслідок наявності результуючого випромінювання від вертикальних поверхонь проміжного блоку виробів до відповідних поверхонь стін камери (або в зворотному напрямку); $Q_{РП}$ – кількість теплоти, Дж, що

передається внаслідок наявності результуючого випромінювання від оберненої вгору горизонтальної поверхні проміжного блоку виробів до оберненої вниз горизонтальної поверхні розташованого вище блоку виробів (або в зворотному напрямку); $Q_{РБП}$ – кількість теплоти, Дж, що передається внаслідок наявності результуючого випромінювання від оберненої вниз горизонтальної поверхні проміжного блоку виробів до оберненої вгору горизонтальної поверхні розташованого нижче блоку виробів (або в зворотному напрямку).

Напрямок потоку результуючого випромінювання залежить від співвідношення між температурами вказаних поверхонь.

Кількість теплоти $Q_{ПБП}$, яку сприймає проміжний блок виробів від нагрітого повітря за i -й проміжок часу, Дж, дорівнює

$$Q_{ПБП} = c_{ПБП} \cdot m_{ПБП} \cdot (t_{П} - t_{ПН}) \cdot \beta_{П}, \quad (6)$$
де $t_{П}$ – середня за i -й проміжок часу температура повітря в камері, °С; $\beta_{П}$ – коефіцієнт, котрий враховує, яку частку теплоти сприймає проміжний блок виробів за i -й проміжок часу (відносно кількості теплоти, необхідної для нагрівання блоку до температури $t_{П}$).

Тепловий баланс нижнього гідроізованого блоку виробів для i -го проміжку часу має вигляд

$$Q_{БН} = c_{БН} \cdot m_{БН} \cdot (t_{БНК} - t_{БНП}) = Q_{ПБН} + Q_{ЕН} \pm Q_{РСН} \pm Q_{РН} \pm Q_{РБН}, \quad (7)$$

де $Q_{БН}$ – витрати теплоти на нагрівання нижнього блоку виробів, Дж; $c_{БН}$ – середня питома масова теплоємність матеріалів нижнього блоку виробів, Дж/(кг·°С); $m_{БН}$ – маса складових нижнього блоку виробів, кг; $t_{БНП}$, $t_{БНК}$ – середня температура складових нижнього блоку виробів на початку та наприкінці i -го проміжку часу, °С; $Q_{ПБН}$ – кількість теплоти, яку сприймає нижній блок виробів від нагрітого повітря, Дж; $Q_{ЕН}$ – надходження теплоти внаслідок наявності екзотермічних реакцій гідратації цементу у нижньому блоці виробів, Дж; $Q_{РСН}$ – кількість теплоти, Дж, що передається внаслідок наявності результуючого випромінювання від вертикальних повер-

хонь нижнього блоку виробів до відповідних поверхонь стін камери (або в зворотному напрямку); $Q_{РН}$ – кількість теплоти, Дж, що передається внаслідок наявності результуючого випромінювання від оберненої вгору горизонтальної поверхні нижнього блоку виробів до оберненої вниз горизонтальної поверхні розташованого вище блоку виробів (або в зворотному напрямку); $Q_{РПН}$ – кількість теплоти, Дж, що передається внаслідок наявності результуючого випромінювання від оберненої вниз горизонтальної поверхні нижнього блоку виробів до поверхні підлоги (або в зворотному напрямку).

Напрямок потоку результуючого випромінювання залежить від співвідношення між температурами вказаних поверхонь.

Кількість теплоти $Q_{ПБН}$, яку сприймає нижній блок виробів від нагрітого повітря за i -й проміжок часу, Дж, дорівнює

$$Q_{ПБН} = c_{ПБН} \cdot m_{ПБН} \cdot (t_{П} - t_{ПН}) \cdot \beta_{Н}, \quad (8)$$
де $t_{П}$ – середня за i -й проміжок часу температура повітря в камері, °С; $\beta_{Н}$ – коефіцієнт, котрий враховує, яку частку теплоти сприймає нижній блок виробів за i -й проміжок часу (відносно кількості теплоти, необхідної для нагрівання блоку до температури $t_{П}$).

Кількість теплоти, Дж, що передається за i -й проміжок часу внаслідок наявності результуючого випромінювання Дж, обчислюється за загальною формулою, наведеною, зокрема, в джерелах [11], [12]:

$$Q_{12} = \varepsilon_{П} \cdot c_0 \cdot \left[\left[\left(\frac{T_1}{100} \right) \right]^4 - \left[\left(\frac{T_2}{100} \right) \right]^4 \right] \cdot F_1 \cdot \Delta t, \quad (9)$$

де $\varepsilon_{П}$ – приведена ступінь чорноти; c_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, Вт/(м²·К⁴); T_1 , T_2 – абсолютні температури поверхонь теплообміну, м²; F_1 – площа першої поверхні, м²; Δt – проміжок часу, с.

Кількість теплоти $Q_{КН}$, що надходить до камери впродовж i -го проміжку часу з нагрітим повітрям, Дж, обчислюється за залежністю

$$Q_{КН} = c_{ПП} \cdot \rho_{ПП} \cdot L \cdot t_{ПП} \cdot \Delta t, \quad (10)$$

де $c_{ПП}$ – питома масова теплоємність повітря, що надходить до камери, Дж/(кг·°С); $t_{ПП}$ – середня за i -й проміжок часу температура повітря, що надходить

до камери, °С; $\rho_{\text{пп}}$ – густина повітря при температурі $t_{\text{пп}}$, кг/м³; L – витрата повітря, м³/с; Δt – проміжок часу, с.

Втрати теплоти $Q_{\text{кв}}$ впродовж i -го проміжку часу з повітрям, що видаляється з камери, Дж, обчислюються за залежністю

$$Q_{\text{кв}} = c_{\text{пк}} \cdot \rho_{\text{пк}} \cdot L \cdot t_{\text{пк}} \cdot \Delta t, \quad (11)$$

де $c_{\text{пк}}$ – питома масова теплоємність повітря, що видаляється з камери, Дж/(кг·°С); $t_{\text{пк}}$ – середня за i -й проміжок часу температура повітря, що видаляється з камери, °С; $\rho_{\text{пк}}$ – густина повітря при температурі $t_{\text{пк}}$, кг/м³.

У табл. 1 наведено результати обчислення зміни температури бетонних виробів (плиток тротуарних) упродовж перших 15 хв їх теплової обробки при різній витраті повітря.

Таблиця 1 – Результати обчислення зміни температури бетонних тротуарних плиток упродовж перших 15 хв їх теплової обробки нагрітим повітрям

L, м ³ /год	$t_{\text{пп}}$, °С	$t_{\text{бп}}$, °С	$t_{\text{бк}}$, °С	$\Delta t_{\text{б}}$, °С
90	25	20	20,56	0,6
135	25	20	20,67	0,7
180	25	20	20,78	0,8
240	25	20	20,91	0,9
355	25	20	21,13	1,1
950	25	20	21,94	1,9
1440	25	20	22,34	2,3
1880	25	20	22,65	2,7

Сумарна маса бетону в камері дорівнює 279,5 кг. Прийнято: початкова температура складових камери (в тому числі бетонних виробів $t_{\text{бп}}$) становить 20°С; середня за перший проміжок часу температура нагрітого повітря $t_{\text{пп}}$, що надходить до камери, дорівнює 25°С. Визначено температуру бетонних виробів наприкінці першого проміжку часу $t_{\text{бк}}$.

За допомогою теплових балансів можна дослідити вплив певних конструктивних рішень камери на інтенсивність нагрівання бетонних виробів.

Висновки. Розглянуто процеси теплообміну між гідроізольованими блоками бетонних виробів при теплової обробці

цих виробів повітрям, нагрітим в колекторі сонячної енергії або в повітронагрівачі.

У подальшому необхідно проаналізувати конструктивні особливості розподілу повітря при його русі в камері.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Заседателев И.Б. Гелиотермообработка сборного железобетона / И.Б. Заседателев, Е.Н. Малинский, Е.С. Темкин. – М.: Стройиздат, 1990. – 312 с.
2. Подгорнов Н.И. Термообработка бетона с использованием солнечной энергии / Н.И. Подгорнов. – М.: Издательство «АСВ», 2010. – 328 с.
3. Крылов Б.А. Комбинированная гелиотермообработка железобетонных изделий в Республике Казахстан / Б.А. Крылов, Л.Б. Аруова // Бетон и железобетон. – 2007. – № 4 – С.11–13.
4. Аруова Л.Б. Использование солнечной энергии для гелиотермообработки бетона в Республике Казахстан [Электронный ресурс] / Л.Б. Аруова, Н.Т. Даужанов. – Режим доступа: http://zimbeton.ru/article/2012_10_3.pdf.
5. Даужанов Н.Т. Малоэнергоёмкая технология термообработки изделий из пенобетона на полигонах с помощью солнечной энергии [Электронный ресурс] / Н.Т. Даужанов, Б.А. Крылов. – Режим доступа: <http://vestnikmsu.ru/files/archive/issues/2014/3/ru/17.pdf>.
6. Пат. № 25072 KZ. МПК C04B41/00. Способ тепловой обработки строительных изделий из полистиролбетонной смеси / Н.Т. Даужанов, Л.Б. Аруова; заяв. 06.09.2010; опубл. 15.12.2011, бюл. № 12.
7. Пат. № 2170895. Российская Федерация. МПК F26B3/00, F24J2/00. Гелиоустановка для термообработки бетонных и железобетонных изделий / В.И. Григорян, А.Г. Бегларян, В.А. Аветисян, Л.К. Бчмян; заявитель и патентообладатель Ереванский архитектурно-строительный институт; заяв. 14.12.1999; опубл. 20.07.2001.
8. Щукина Т.В. Повышение энергоактивности гелиотермообработки строительных изделий / Т.В. Щукина // Строительные материалы. – 2008. – № 10. – С. 20 – 23.
9. Пат. № 83714. Україна. МПК (2013.01) F24H 3/00. Спосіб використання сонячної енергії для теплової обробки бетонних і

- залізобетонних виробів / Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін, О.В. Свінін; заявник і власник Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка; заяв. 01.04. 2013; опубл. 25.09. 2013, бюл. № 18.
10. Волков О.Д. Проектирование вентиляции промышленного здания: учеб. пособие / О.Д. Волков. – Харьков: Вища школа, 1989. – 240 с.
11. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
12. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 343 с.

UDK 622.691.4

Bratakh M., Ruzina I., Obunikem Eziuzo, Telychko M.

Український науково-дослідний інститут природних газів – УкрНДІгаз, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

THE PROSPECTS OF EOR PROJECTS IN UKRAINE

Only for thirds of Ukrainian oil and gas fields the average value of oil density is 0.82 kg/m³. Although density and specific gravity are used extensively in the oil industry, the API gravity is considered the preferred property. This value of 37.6 for Ukrainian oil is close to most famous ones all over the world (see table 1) [1]. A higher API gravity indicates a lighter crude or oil product,

whereas a low API gravity implies a heavy crude or product [2]. But remaining 66 % of Ukrainian oil fields have the API Gravity of 17.5 close to SJV California. It has been reported that heavier crude oils may have high sulfur content and be highly viscous. This means the difficulties concerning recovery and treatment processes during production.

Table 1 - Properties of Some Reference Crude Oils [3,4]

Property	Arabian light	Arun Indonesia	Beryl N.S	Nigerian light	SJV Calif.
API (gravity)	33.9	54.1	36.5	37.6	15.2
Pour Point (°C)	- 42.3	- 48.3	- 6.75	-15	- 20.6
CCR (wt%)	3.6	0.01	1.3	1.1	7.0
Sulfur (wt%)	1.8	>0.1	0.42	0.13	1.05
Nitrogen (ppm)	60	50	880	0.06	6200
Nickel (ppm)	3	0.65	0.8	3.6	63
Vanadium (ppm)	19	0.15	3.7	0.3	60
Salt Content (kg per 1000 bbl)	4.536	1.367	3.357	2.268	6.35

Enhanced oil recovery refers to the process of producing liquid hydrocarbons by

methods other than the conventional use of reservoir energy and reservoir repressurizing