УДК 666.97.035

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОПИТКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНО УЛОЖЕННОЙ ВАКУУМИРОВАНИЕМ

Н. А. Сторожук, д.т.н., проф.

Постановка проблемы. Автором предложен новый метод улучшения свойств бетонов с использованием полимеров (мономеров). Этот метод основан на уплотнении бетонной смеси вибровакуумированием с пропиткой улучшающими составами под действием вакуума в процессе формования изделий. Процесс твердения бетона совмещается с полимеризацией мономера. Такая технология позволяет сократить продолжительность производства бетонополимеров в несколько раз.

Задача о скорости пропитки уплотняемой вакуумированием бетонной смеси сводится к определению границы продвижения раздела двух жидкостей – пропиточного материала и воды затворения. В литературе по технологии бетонов исследования по этому вопросу отсутствуют. В работах, посвященных теории фильтрации, отмечено, что задача о движении границы раздела двух жидкостей в пористой среде в точной постановке является одной из наиболее сложных. Первые исследования в этой области принадлежат Л. С. Лейбензону о стягивании контура нефтеносности при водонапорном режиме течения [1]. Дальнейшее развитие эта задача получила в работах М. Маскета, В. Н. Щелкачева, П. П. Полубариновой-Кочиной, И. А. Чарного [2–4]. На основании анализа литературных данных имеются основания сделать вывод о возможности получить решение такой задачи только при поступательном прямолинейном и радиально-круговом движениях границы раздела двух жидкостей. Для остальных случаев строгое аналитическое решение, которое можно было бы использовать для технических расчетов, пока еще не получено по следующей причине. На границе раздела двух жидкостей происходит своеобразное преломление линий тока (рис. 1) [2–4]. Кривая MN является границей раздела области бетонной смеси, пропитанной пропиточным материалом (I), и области, занятой только водой затворения (II).

Рис. 1. Схема перемещения границы пропитки в уплотняемой вибровакуумированием бетонной смеси:
I – область бетонной смеси, пропитанная пропиточным материалом;
II – то же, область, занятая водой затворения.

Предположим, что вязкость пропиточного материала $(\mu_{П})$ меньше вязкости воды затворения $(\mu_{в})$. В произвольной точке Q границы MN найдем проекции скоростей частиц пропиточного материала и воды на нормаль n и касательную τ к кривой MN. В силу неразрывности течения элементарные расходы пропиточного материала и воды затворения через произвольный элемент границы раздела равны. Отсюда следует, что и нормальные проекции обеих скоростей равны, т. е. $u_{1n} = u_{2n}$. Давление в уплотняемой бетонной смеси в точке Q также должно быть одинаковым для пропиточного материала и воды затворения, так как в сплошном потоке оно не может меняться скачкообразно. Касательные же компоненты скоростей обеих жидкостей согласно закону Дарси будут:

$$u_{1\tau} = -\frac{K_{П}}{\mu_{П}} \cdot \frac{\partial P}{\partial \tau}; \qquad u_{2\tau} = -\frac{K_{П}}{\mu_{в}} \cdot \frac{\partial P}{\partial \tau}. \tag{1}$$

Проницаемость постоянна, вязкость различны, следовательно, (если , то и). Таким образом, векторы скоростей точки для пропиточного материала и воды будут различны и, следовательно, линии тока и , проходящие в каждой из жидкостей через точку , будут иметь излом в этой точке. Из этого следует, что на границе раздела каждая трубка тока имеет излом, перемещающийся вместе с этой границей по мере вытеснения пропиточным материалом воды затворения. Таким образом, весь процесс пропитки можно рассматривать как вытеснение пропиточным материалом воды затворения из системы деформируемых трубок тока.

Основной материал. Допускаем, что линии тока воды затворения и пропиточного материала в процессе пропитки в некоторой области совпадают с линиями тока при движении одной из жидкостей (воды затворения или пропиточного материала) в той же области при неизменных граничных условиях. Указанное предположение практически подтверждается в случаях одномерной прямолинейной или радиальной пропитки. Такое допущение в литературе по гидромеханике называется методом недеформируемых линий тока [5].

С учетом изложенного из пропитываемой области свежеотформованного вакуумированием бетонного образца (изделия) выделим элементарную трубку тока, проходящую через всю его толщину (рис. 2). Часть этой трубки уже заполнена пропиточным материалом, а оставшаяся часть – только водой затворения. Сечение трубки тока, разделяющее пропиточный материал от воды затворения, принадлежит границе пропитки.

Согласно закону Дарси, а также работам [1; 5], в пределах области, занятой пропиточным материалом, будем иметь:

$$q = \frac{P_П - P_x}{\mu_П \int_0^l \frac{dl_x}{K_П f}}, \quad (2)$$

где q – переменный во времени расход трубки тока;

$P_П$ – переменное во времени давление на поверхности образца (изделия), противоположной вакуумщиту;

P_x – переменное во времени давление в сечении трубки тока, находящемся на расстоянии l_x (по оси трубки) от поверхности образца (изделия);

f – площадь поперечного сечения трубки тока на расстоянии l_x от поверхности образца (изделия).

В части трубки тока, заполненной водой затворения, получим:

$$q = \frac{P_x - P_в}{\mu_в \int_l^L \frac{dl_x}{K_П f}}, \quad (3)$$

где L – длина трубки тока (рис. 2);

$P_в$ – переменное во времени давление в вакуумполости вакуумщита.

Далее, используя методику авторов [1; 5–7], обозначим через q' и P' соответственно расход рассматриваемой трубки тока (рис. 2) и давление в ее сечении на расстоянии l_x от поверхности образца (изделия) при установившейся фильтрации одной воды затворения в предположении (с достаточной для практики точностью), что на поверхности образца (изделия) и в вауумполости вакуумщита при пропитке давление, соответственно, равно 1 и 0. Тогда с учетом уравнений (2) и (3) получим:

$$q = \frac{1 - P'}{\mu_П \int_0^l \frac{dl_x}{K_п f}} = \frac{P_x}{\mu_в \int_l^L \frac{dl_x}{K_П f}}. \quad (4)$$

Рис. 2. Схема элементарной трубки тока, проходящей через всю толщину уплотняемого вакуумированием слоя бетонной смеси: I – часть трубки тока, заполненная пропиточным материалом; II – то же, заполненная водой затворения.

Определяя из этого уравнения входящие в него интегралы и подставляя полученные выражения в уравнения (2) и (3), приведем их к виду:

$$q = q' \frac{\mu_в}{\mu_П} \cdot \frac{P_П - P_x}{1 - P'} = q' \frac{P_x - P_в}{P'}. \quad (5)$$

Путем преобразования уравнения (5), получим:

, где . (6)

Подставляя в уравнение (5) вместо выражение (6), будем иметь:

при . (7)

, при . (8)

При известной закономерности перемещения границы пропитки во времени (функции) из рассмотрения установившейся фильтрации одной воды затворения определим величины и , и далее из уравнений (6), (7) и (8) найдем расход трубки тока и в зонах движения пропиточного материала и воды затворения, т. е. определим все параметры пропитки. Для реализации высказанного принимаем следующее.

Пусть – бесконечно малое перемещение границы пропитки за бесконечно малый промежуток времени . Тогда объем воды, извлеченный за это время, будет равен , где – переменный по длине трубки тока коэффициент

пористости уплотненной вакуумированием бетонной смеси. Указанный объем извлеченной воды также равен qdt. Следовательно,

$$m_{П} f dl = qdt \quad .$$

Подставляя в это уравнение вместо q его выражение (6) и интегрируя полученный результат, найдем:

$$\int_0^t \left(P_{П} - P_{в}\right) dt = \int_{l_0}^{l} \frac{m_{П}}{v'} \left[P' + \mu_0 (1 - P')\right] dl \quad . \tag{9}$$

Здесь $v' = \frac{q'}{m_{П}}$ – скорость фильтрации в сечении трубки тока, находящемся на расстоянии l_x от поверхности образца (изделия), при установившейся фильтрации одной воды затворения, l_0 – расстояние до границы пропитки от поверхности образца (изделия) при $t = 0$. Правая часть уравнения (9) представляет собой функцию одной переменной l_x, левая – функцию времени t. Поэтому уравнение (9) определяет искомую зависимость перемещения границы пропитки во времени.

Более подробно рассмотрим пропитку при одномерной прямолинейной фильтрации в предположении постоянства давления на противоположных гранях образца (изделия). В гидромеханике указанный случай при пренебрежении вязкостью был впервые рассмотрен Л. С. Лейбензоном, а с учетом вязкости воды – В. Н. Щелкачевым, М. Маскетом, В. Н. Аравином, С. Н. Нумеровым [5]. С учетом принятых допущений получено:

$$P' = 1 - \frac{l}{L}; \quad v' = \frac{K_{П}}{\mu_{в} L} \quad . \tag{10}$$

Уравнения (7) и (8) с учетом (10) будут иметь вид:

$$P_x = P_{П} - \frac{\mu_0 \left(P_{П} - P_{в}\right) \frac{l}{L}}{1 - (1 - \mu_0) \frac{l}{L}} \text{, при } (l_0 \le l_x \le l) \quad . \tag{11}$$

$$P_x = P_{в} + \frac{\left(P_{П} - P_{в}\right)\left(1 - \frac{l}{L}\right)}{1 - (1 - \mu_0) \frac{l}{L}} \text{, при } (l_0 \le l_x \le L) \quad . \tag{12}$$

Количество извлеченной воды за время t будет равно:

$$Q = \int_0^t q dt = \int_{l_0}^{l} m_{П} f dl = m_{П} S_{ф} (l - l_0) \quad , \tag{13}$$

где $S_{ф}$ – площадь (пропитки) образца (изделия).

Подставляя в уравнение (9) значение (10) и интегрируя полученный результат, будем иметь:

. (14)

Уравнение (14) выражает закономерность перемещения границы пропитки во времени. Полагая в нем , , определим время полной пропитки бетонного образца (изделия):

. (15)

При одинаковой вязкости воды и пропиточного материала ( ), а также при будем иметь:

. (16)

Таким образом, при прочих равных условиях время пропитки образца (изделия) пропорционально квадрату его толщины (высоты) и обратно пропорционально его проницаемости и разности давления на противоположных гранях

образца (величине разрежения). С уменьшением пористости (увеличением плотности) время пропитки будет соответственно увеличиваться.

Вывод. Предложен новый метод улучшения свойств бетонов с использованием полимеров (мономеров). Этот метод основан на уплотнении бетонной смеси вибровакуумированием с пропиткой под действием вакуума в процессе формования изделия. Пропитке подвергается не затвердевший бетон, а свежеотформованная бетонная смесь, процесс пропитки совмещается с формованием и уплотнением.

Разработаны теоретические основы пропитки соответствующим материалом уплотняемой вакуумированием бетонной смеси. Определены закономерности продвижения границы пропитки, даны основные зависимости.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. **Лейбензон Л. С.** Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М.–Л.: Гостехиздат, 1947. – 244 с., ил.
2. **Чарный И. А.** Основы подземной гидравлики. – М.: Гостоптехиздат, 1956. – 260 с., ил.
3. **Бабалян Г. А.** Вопросы механизма нефтеотдачи. – Баку: Азнефтеиздат, 1956. – 254 с., ил.
4. **Маскет М.** Течение однородных жидкостей в пористой среде. – М.–Л.: Гостоптехиздат, 1949. – 628 с., ил.
5. **Аравин В. И., Нумеров С. Н.** Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой среде. – М.: Гостоптехиздат, 1953. – 616 с., ил.
6. **Щелкачев В. Н., Лапук Б. Б.** Подземная гидравлика. – М.–Л.: Гостехиздат, 1949. – 524 с., ил.
7. **Чарный И. А.** Подземная гидромеханика. – М.: Гостоптехиздат, 1948. – 196 с., ил.

УДК 666.97.035

Теоретические основы пропитки бетонной смеси, предварительно уложенной вакуумированием /Н. А. Сторожук //Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2008. – № 3. – С. 26–31. – рис. 2. – Бібліогр.: (7 назв.).

Предложен новый способ получения бетонополимеров, основанный на пропитке бетона в процессе формирования изделия. Разработаны теоретические основы пропитки соответствующим материалом. Определены закономерности продвижения границы пропитки, даны основные зависимости.