

бетона в ограниченном объеме. При выбранном сочетании уровней других факторов эта верхняя граница температурного напора обеспечивает получение нормативного качества открытых поверхностей изделий.

Разработанный в БПИ и предложенный для промышленного внедрения способ тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий является достаточно эффективным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по электротермообработке бетона/НИИЖБ Госстроя СССР. — М., 1974. — 225 с. 2. А.с. 1199749 СССР, МКИ С 04 В 40/02. Способ тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий / В.Г. Данько, И.М. Ляшкевич, О.А. Лотков и др.

УДК 693.546.3

Т.Е. ШАЛИМО, М.Ф. МАРКОВСКИЙ

### ПЕРЕКАЧИВАЕМОСТЬ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ БЕТОНОНАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Основные технологические параметры бетонных смесей, транспортируемых по трубопроводам, в настоящее время назначаются эмпирически, методом проб и ошибок. Возможность транспортирования их ограничена вследствие частого образования пробок в бетоноводе, вызывающих технологические отказы в процессе производства бетонных работ, что снижает его надежность. Практика показывает, что большей частью технологические отказы вызываются закупоркой бетоноводов на участках сложной конфигурации, таких как поворотные звенья, сужающиеся конусы с различными геометрическими параметрами. В этой связи разработка методики оценки перекачиваемости бетонных смесей в бетоноводах с местными сопротивлениями является актуальной задачей.

Движение бетонной смеси в местных сопротивлениях существенно отличается от движения ее в прямолинейном бетоноводе. Согласно современным представлениям, в процессе перемещения бетонной смеси по бетоноводу движение ядра потока происходит без относительного смещения слоев бетонной смеси по пристенному слою, состоящему из тонкодисперсных частиц мелкого заполнителя, цемента и воды. Взаимодействие бетонной смеси с твердыми поверхностями бетоновода приводит к дислокациям в структуре потока, в результате чего и образуется пристенный слой, толщина которого зависит от скорости движения среды и возрастает с ее увеличением.

При движении бетонной смеси в местных сопротивлениях, кроме трансляционного сдвига в пристенном слое, происходит сложная деформация ядра потока [1]. Так, например, в поворотном звене имеет место девиаторный сдвиг ядра в радиальном направлении, а в конусе — обжатие ядра потока.

Образование пристенного слоя достаточной толщины обуславливает такой режим движения бетонной смеси, при котором достигается наибольшее сниже-

ние сил трения. Поэтому одним из условий перекачиваемости бетонных смесей является образование пристенного слоя необходимой толщины.

Сложная деформация бетонной смеси в местных сопротивлениях приводит к тому, что образующийся пристенный слой имеет переменную толщину. Это обуславливает более жесткие требования к перекачиваемым смесям.

В общем виде условие перекачиваемости бетонной смеси в местном сопротивлении,  $\eta_M$  имеет вид

$$\eta_M = \eta_{тр} + \Delta\eta_M \leq 0,98,$$

где  $\Delta\eta_M$  — величина, зависящая от геометрических параметров местного сопротивления и свойств бетонной смеси.

На основании рассмотренного механизма течения смеси в трубопроводах в работе [2] получены критерии перекачиваемости бетонной смеси в поворотном звене и круглом конусе.

Полученные ранее зависимости позволяют определить значение  $\Delta\eta_{пов}$  для поворотного звена:

$$\Delta\eta_{пов} = \eta_{пов} - \eta_{тр} = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{3 - V_0 \frac{3r - r}{R + r}} - 1,5 \sqrt{1 - V_0}, \quad (1)$$

где  $\eta_{пов}$ ,  $\eta_{тр}$  — соответственно критерии перекачиваемости смеси в поворотном звене и цилиндрической трубе;  $R$  — радиус поворота трубопровода;  $r$  — радиус бетоновода;  $V_0$  — относительный объем цементного теста и воды, отжимаемых от ядра потока в пристенные слои.

По аналогии получаем

$$\Delta\eta_k = \eta_k - \eta_{тр}$$

для круглого конуса.

После подстановки значений  $\eta_k$  и  $\eta_{тр}$

$$\Delta\eta_k = \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{r_2}{2r_1}\right)^2 + V_0 \frac{(r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)}{(1 - V_0) r_1}} A_\beta - 1 - \frac{r_2}{2r_1} \right] \sqrt{1 - V_0}, \quad (2)$$

где  $r_1$ ,  $r_2$  — радиусы соответственно входного и выходного сечений конуса;  $A_\beta$  — коэффициент, зависящий от угла сужения конуса:

$$A_\beta = \left( \frac{1 - \cos\beta}{\sin\beta} \right)^2 \left( \frac{2}{\cos\beta} + 1 \right).$$

Таким образом, условие перекачиваемости бетонной смеси зависит от геометрических параметров трубопровода, поворотного звена конуса и структурных характеристик смеси. Анализ зависимостей (1) и (2) показывает, что ус-

ловия перекачиваемости бетонных смесей ухудшаются с увеличением угла сужения конуса и уменьшением радиуса изгиба поворотного звена.

Важной задачей является также определение условий перекачиваемости бетонных смесей современными автобетононасосами с гидроприводом и распределительной стрелой, в конструкции которых имеется большое количество трубопроводов с местными сопротивлениями.

Как показано выше, перекачиваемость смеси зависит от геометрических параметров местных сопротивлений и характеристики  $V_0$ . Зная геометрические параметры местных сопротивлений в самой конструкции бетононасоса и в распределительной стреле и учитывая их расположение, можно определить критерий перекачиваемости бетонных смесей по следующей зависимости:

$$\eta_6 = \eta_{\text{тр}} + \Delta\eta_{\text{к}} + \Delta\eta_{\text{пов}} \leq 0,98,$$

где  $\eta_6$  – критерий перекачиваемости бетонных смесей автобетононасосом.

Условие перекачиваемости бетонной смеси автобетононасосом БН-80-20 имеет вид

$$\eta_6 = \sqrt{1 - V_0} + 0,015 V_0 + 0,007 \leq 0,98.$$

Конструкция бетоноводов автобетононасоса BPL 900 HD фирмы "Швинг" (ФРГ) имеет ряд отличительных особенностей по сравнению с автобетононасосом БН-80-20. Автобетононасос BPL 90 HD находит широкое применение в производстве бетонных работ. Условие перекачиваемости бетонных смесей данным бетононасосом получено в виде

$$\eta_6 = \sqrt{1 - V_0} + 0,19 V_0 \leq 0,98.$$

Проверка достоверности аналитических зависимостей производилась по результатам исследований перекачиваемости бетонных смесей на плотных и пористых заполнителях бетононасосом С-296, автобетононасосами БН-80-20 и BPL 900 HD по распределительным стрелам и стационарному бетоноводу длиной 100 м (включая местные сопротивления). Проверку критериев перекачиваемости смесей автобетононасосом BPL 900 HD производили во время производства бетонных работ непосредственно на строительных объектах. Выполненная опытно-промышленная проверка подтвердила приемлемость разработанной методики оценки перекачиваемости бетонных смесей.

Номограмма на рис. 1 позволяет определять критерий перекачиваемости бетонной смеси в поворотном звене бетоновода  $\eta_{\text{пов}}$ , а график на рис. 2 – значение  $A_\beta$  в зависимости от угла сужения конуса  $\beta$ .

Важными технологическими свойствами перекачиваемой бетонной смеси являются ее связность и нерасслаиваемость. Введение ограничений по подвижности или относительному водосодержанию цементного теста не характеризует в ряде случаев нерасслаиваемость перекачиваемых бетонных смесей. Нарушение связности бетонной смеси в бетоноводе при наличии градиента давления приводит к ее разделению на растворную составляющую и заполнитель, вследствие чего фрикционное взаимодействие заполнителей с бетоноводом вызывает его закупорку.

Многочисленными исследованиями установлена важность правильного вы-

бора фракционного состава мелкого и крупного заполнителей, а также концентрации цементного теста, содержания заполнителей для достижения наибольшей однородности бетонной смеси.

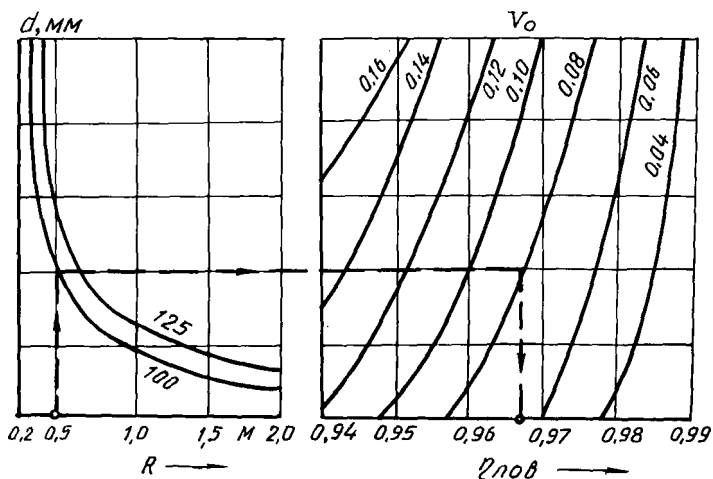


Рис. 1. Номограмма для определения критерия перекачиваемости смеси в поворотном звене бетоновода

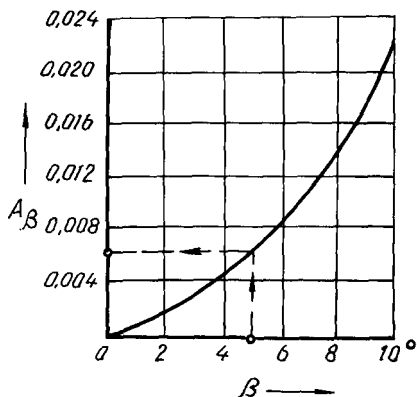


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $A_\beta$  от угла сужения конуса

Расслаиваемость бетонных смесей изучалась с помощью разработанного прибора, основанного на определении раствооротделения при вибрировании смеси на стандартной вибрплощадке. Проведенные исследования с использованием метода планирования эксперимента позволили выявить условия обеспечения нераслаиваемости перекачиваемых бетонных смесей на плотных заполнителях:

$$\begin{aligned}
 \Pi_p = & 144X_T + 748m_{T,B} + 1804n + 1040X_T m_{T,B} - 680X_T n - \\
 & - 2800m_{T,B} n - 750 \leq 145,
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где  $\Pi_p$  — показатель расслаиваемости смеси;  $X_T$  — относительное содержание воды в цементном тесте;  $m_{T,B}$  — объемная доля цементного теста в бетонной смеси;  $n = \Pi / (\Pi + \Psi)$  — относительная доля песка в смеси заполнителей;  $\Pi$ ,  $\Psi$  — расход соответственно песка и щебня на  $1 \text{ м}^3$  смеси.

Аналогично получено условие нераслаиваемости перекачиваемых бетонных смесей на пористых заполнителях:

$$\Pi_p = 3480m_{T,B} + 780X_T - 2200X_Tm_{T,B} - 1115 < 120.$$

Номограмма для определения показателя расслаиваемости бетонных смесей по зависимости (3) приведена на рис. 3.

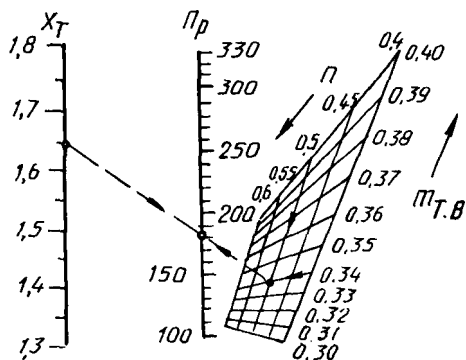


Рис. 3. Номограмма для определения показателя расслаиваемости перекачиваемой бетонной смеси на плотных заполнителях

Таким образом, разработанные методики оценки перекачиваемости и нераслаиваемости бетонных смесей позволяют на стадии проектирования их составов прогнозировать и назначать такие значения технологических параметров, которые обеспечивают надежность процесса перекачивания смесей бетононасосными установками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Маркóвский М.Ф. Решение реологической задачи течения бетонной смеси в круглом конусе // Тез. докл. 12 конф. молодых ученых Прибалтики и Белоруссии. — Рига, 1984. — С. 135—136.
2. Маркóвский М.Ф. Влияние местных сопротивлений на перекачиваемость бетонных смесей // Техника, технология, орг. и экономика стр-ва. — Мн., 1986. — Вып. 12. — С. 68—69.