

УДК 691.327:666.973.6:693.546.5

Г. Я. КУННОС, д-р техн. наук, проф., А. Е. ТЕРЕНТЬЕВ, канд. техн. наук (Рижский политехнический ин-т); А. В. ДОМБРОВСКИЙ, Н. П. САЖНЕВ, кандидаты техн. наук, Ю. Я. НОВАКОВ, инж. (НИПИ силикатобетон, Таллин)

Теория и практика ударного формования газобетонных массивов

Около четверти века тому назад коллективом сотрудников ВНИИСТРОМа, ВНИИЖелезобетона, МИСИ, ВЗИСИ и РПИ было предложено использовать свойство тиксотропии, присущее ячеистобетонным смесям на стадиях их приготовления и вспучивания. Была разработана вибрационная технология изготовления ячеистобетонных изделий, по которой до последнего времени выпускали примерно 25% всей продукции.

Однако отставание в разработке эффективного и экономичного оборудования, особенно вибросмесителей, явилось препятствием для дальнейшего расширения производства изделий по вибрационной технологии и использования ее преимуществ — возможности применения смесей на смешанном цементно-известковом вяжущем с водотвердым отношением В/Т=0,32...0,34. Поэтому усилия исследователей и производственников были направлены на изыскание других динамических способов формования изделий.

В последнее время разработаны и внедрены ударный и ударно-колебательный способы формования ячеистобетонных массивов. Первый осуществляется на установках с вертикально направленными периодическими ударами¹, второй — на установках с горизонтальным перемещением форм [1]. Основным их преимуществом является экономия электроэнергии при формовании изделий,

которая составляет соответственно 0,074 и 0,04 кВт/м³ газобетона, тогда как при вибровспучивании — 0,61 кВт/м³ [2]. Ударный способ внедрен на 8 заводах, их общая производительность 0,65 млн. м³/год, т. е. более 10% всего объема ячеистого бетона. По ударно-колебательному способу производятся армированные изделия на заводе ПО «Вангажи» ЛатвССР, где в 1984 г. изготовлено 55,5 тыс. м³ стеновых панелей. Эти способы начинают вытеснять вибрационное производство ячеистых бетонов.

В таблице приведены результаты сравнительных испытаний газобетонных массивов, изготовленных тремя способами формования. Данные показывают преимущества ударного способа перед вибрационным и литьевым в отношении прочности и однородности, плотности и прочности материала в массиве. По сравнению с литьевым можно на 25% уменьшить расход цемента и на 1,0...1,5 ч сократить время набора сырцом пластической прочности, необходимой для транспортирования массива на стол резательной машины. Результаты завода ПО Сморгонь силикатобетон превышают результаты опытного завода НИПИ силикатобетон: коэффициент конструктивного качества в первом случае достигает 17,0 [3]. Оценка качества ячеистой структуры бетона, полученного по ударной технологии, показывает, что оно находится на одном уровне со структурой бетона фирмы «Сипорекс». Получаемая структура равномерна, без расслоений и трещин. Например, относительное число ячеек с дефектными стенками межпорового материала в бе-

тоне «Сипорекс» равно 7,0, в бетоне, полученном по ударной технологии — 6,0, а в изготовленном по вибротехнологии — 14,2 [4]. Показатель изотропности и бездефектности ячеистой структуры бетона (K_6), изготовленного по ударной технологии, равен 0,66, а средняя величина K_6 испытанного нами бетона «Сипорекс» — 0,64.

Промышленное внедрение ударной технологии на ряде заводов показало ее технико-экономические преимущества. Экономический эффект составляет 1,2...1,7 р/м³.

Однако для получения столь высоких показателей, приведенных в таблице, необходимо выполнить многочисленные трудоемкие опыты, требующие для выявления оптимальных режимных параметров (частот ударов и высоты падения стола) длительного времени. Поэтому возникла насущная необходимость в разработке инженерного метода расчета технологических параметров, основывающегося на закономерностях волновых процессов во вспучивающейся упруговязкой (ВУВ) среде, обладающей тиксотропией. Эта среда (газобетонная смесь) аппроксимировалась новой реологической моделью, содержащей элемент давления газа. Реологические характеристики во время вспучивания и начального структурообразования определены по методу объемного одноосного (компрессионного) напряженно-деформируемого состояния, соответствующего технологическим условиям (вертикальным ударам).

В результате аналитического решения задачи распространения волн при вертикальном ударном формовании в ВУВ тиксотропной среде получены формулы для определения напряжений, деформаций, перемещений, скорости и ускорения частиц среды. При этом оценен вклад вспучивания и тиксотропного разжижения; коэффициент разжижения определялся по измерению коэффициента затухания собственных колебаний смеси, возникающих и затухающих в период времени между ударами. Для практического использования аналитического решения и проведения численных экспериментов составлен комплекс программ для ЭВМ системы ЕС на языке FORTRAN-IV [5, 6]. На рис. 1 видно, что при колебаниях смесь подвергается растяжению с полной компенсацией гидростатического сжатия (прямая), причем при малых амплитудах удара максимальные растягивающие напряжения

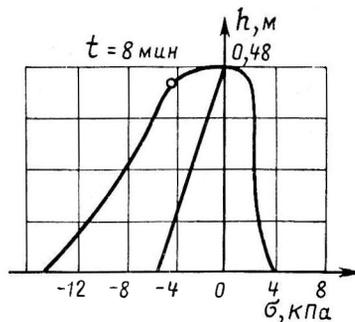
¹ А. с. 669588 СССР, МКЛ В28 В 1/50. Способ изготовления изделий ячеистобетонной смеси / К. Э. Горьяинов, А. В. Домбровский, Н. П. Сажнев и др. (СССР) // Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. — 1979. — № 23. — С. 189.

Показатель и единица измерения	Ударное формование*	Ударное формование**	Вибрационное формование**	Литьевое формование**
Расход цемента, %	15	15	16	20
Расход известково-песчаной смеси, %	85	85	84	80
В/Т	0,37...0,39	0,38...0,40	0,38...0,40	0,46...0,47
Подвижность по Суттарду, см	11...13	12,5...14,0	12...14	23...25
Плотность, кг/м ³	630...650	540...570	570...680	615...638
Прочность на сжатие, МПа	6,6...7,2	4,0...4,9	4,4...5,1	4,3...5,1
Коэффициенты вариации в массиве:				
по плотности	0,02...0,03	0,08...0,04	0,04...0,06	0,03...0,04
по прочности	0,11...0,13	0,10...0,18	0,12...0,17	0,15...0,18
Пластическая прочность сыпца на 60 мин от затворения, кПа	—	29,0...39,0	26,0...37,5	16,0...18,5
Коэффициент конструктивного качества, Па·м ³ /кг ²	16,7...17,0	13,7...15,3	11,5...13,6	11,0...13,5

* Данные ПО Сморгонь силикатобетон, размеры массивов 6,0×2,75×0,5 м и 6,4×1,2×0,6 м.

** Данные опытного завода НИПИ силикатобетон, размеры массивов 6,0×1,2×0,6 м.

Рис. 1. Эпюры максимальных сжимающих ($\sigma < 0$) и растягивающих ($\sigma > 0$) напряжений и высоте (h) слоя массива



испытывают верхние слои, при значительных амплитудах — нижние.

На рис. 2 показано изменение во времени при формировании максимальных сжимающих напряжений на уровне точки «1» вблизи поверхности, отмеченной на эпюре напряжений (см. рис. 1), для разных высот падения формы A ($A_1 < A_2 < \dots < A_6$).

При расчете режима ударного формирования газобетона основывались на следующих технологических концепциях. Потеря несущей способности смеси при нагружении сжатием происходит у поверхности, при этом газовые поры разрушаются, газ выходит наружу. В глубине массива при прохождении волн напряжений поры испытывают всестороннее сжатие, при котором разрушение и выход газа наружу маловероятны. Поэтому можно предполагать, что ударный режим не приведет к разрушению материала, если сжимающие напряжения у поверхности смеси (на уровне точки, отмеченной на рис. 1) не превышают предела ее несущей способности в течение всего времени формирования.

Амплитудный режим формирования A (рис. 3) определен из графика (см. рис. 2), на котором кривая несущей способности смеси P ограничивает допустимую высоту падения формы для всего процесса формирования [6]. Период между ударными циклами определяется временем затухания колебаний и временем заданного частичного восстановления вязкости после тиксотропного разжижения. Пауза между ударами необходима, чтобы восстанавливающаяся после тиксотропного разжижения вязкость смеси блокировала всплытие пузырьков, приводящее к газовойделению с поверхности, а также затормозила их объемное расширение, что при не-

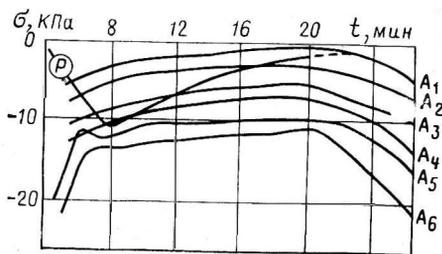


Рис. 2. Максимальные сжимающие напряжения у поверхности массива

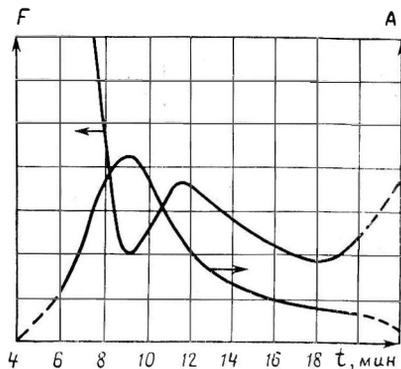


Рис. 3. Амплитудно-частотный режим ударного формирования

прерывном увеличении внутреннего давления газа в пузырьках ведет к уплотнению межпоровых стенок.

Установлено, что между высотой падения формы и частотой ударных воздействий существует взаимное соответствие во время формирования, что позволило по выбранному амплитудному режиму формирования A найти соответствующий частотный режим формирования F газобетона высотой 0,6 м состава, характерного для ударнотехнологии формирования.

Теоретически рассчитанные режимы ударного формирования газобетонных массивов обеспечили существенное повышение качества готового материала. Его плотность понижается в среднем на 8...12% при одновременном повышении прочности в среднем на 10...15%, что означает увеличение коэффициента конструктивного качества примерно в 1,4 раза (по сравнению с величинами, полученными экспериментально при заводских режимах). Это можно объяснить улучшением качества макроструктуры и уплотнением упаковок пор в материале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курносое Э. А., Дубин Е. М. Ударно-колебательная технология и оборудование для изготовления газобетонных изделий // Информ. листок ОНТД. — Рига: ЛатНИИТИ, 1983. — 3 с.
2. Козлов Н. П., Курносое Э. А., Дубин Е. М. Производство газобетонных изделий // Бетон и железобетон. — 1986. — № 4. — С. 14.
3. Сборник материалов и информации постоянной комиссии СЭВ по сотрудничеству в области строительства. — М., 1983. — № 2 (73). — С. 15.
4. Исследование макро- и микроструктуры ячеистого бетона, полученного по ударной технологии // К. Э. Горяинов, А. В. Домбровский, Г. Ф. Грюнер, Н. П. Сажнев // Производство и применение силикатных бетонов. — Таллин: НИПИИИ-Литбетон, 1981. — С. 31—41.
5. Терентьев А. Е. Исследование волновых процессов ударной технологии формирования газобетона // Реология бетонных смесей и ее технологические задачи: Тез. докл. IV Всесоюзного симпозиума. — Юрмала, 1982. — С. 375—378.
6. Терентьев А. Е. Волновые процессы во всплывающей упруговязкой среде при вертикальных ударных воздействиях: Автореф. дис... канд. техн. наук. — Рига, 1984. — 20 с.