

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-4-303-310>

УДК 691.327/328:621.892

О синергетическом влиянии смазки и химических добавок на получение качественной поверхности бетонных изделий

Докт. техн. наук, доц. П. И. Юхневский¹⁾, инж. Н. П. Димитриади²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие по строительству «Институт БелНИИС» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2019
Belarusian National Technical University, 2019

Реферат. В статье обоснованы научные предпосылки для разработки составов смазочных материалов форм бетонных изделий с качественной поверхностью. Показано, что большое значение имеет учет взаимодействия между пузырьками воздуха, смазкой и жидкой фазой модифицированного бетона. Разделительная смазка должна позволять воздуху мигрировать в определенной степени и выходить из поверхности раздела «опалубка – бетонная смесь». Для этого смазка должна обладать невысокой вязкостью, а также придавать максимальную гидрофобизацию форме, обладать минимальной адгезией к бетонной смеси. Добавки гидрофобных веществ в жидкие смазки существенно снижают поверхностную пористость изделий. Химические добавки-пластификаторы, особенно добавки поликарбоксилатного типа, в значительной степени снижают поверхностное натяжение жидкости $\sigma_{гж}$, тем самым существенно уменьшают работу по закреплению воздушного пузырька на поверхности бетона и способствуют его выталкиванию. Кроме того, адсорбированные молекулы химических добавок препятствуют взаимодействию частиц цементного теста с поверхностью формы. Молекулы добавок поликарбоксилатов диффундируют из диффузного слоя бетонной смеси, заполняют капилляры в смазочной пленке, снижают ее вязкость, играют роль присадок, регулирующих процесс растекания смазки и облегчающих удаление пузырьков воздуха в поверхностном слое. Экспериментальные исследования совместного влияния низковязкой смазки на основе растительных масел и модифицирующих добавок подтвердили приведенные выше положения. Наибольшее влияние на снижение поверхностной пористости бетона оказала добавка на поликарбоксилатной основе, причем содержание всех видов пор в бетоне оказалось примерно на одном уровне.

Ключевые слова: разделительные смазки, поверхностное натяжение, краевой угол смачивания, химические добавки-пластификаторы

Для цитирования: Юхневский, П. И. О синергетическом влиянии смазки и химических добавок на получение качественной поверхности бетонных изделий / П. И. Юхневский, Н. П. Димитриади // *Наука и техника*. 2019. Т. 18, № 4. С. 303–310. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-4-303-310>

About Synergistic Effect of Lubricant and Chemical Additives on Obtaining Quality Surface of Concrete Products

P. I. Yukhnevskiy¹⁾, N. P. Dimitriadi²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Republican Unitary Scientific-Research Enterprise for Construction “Institute BelNIIS” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper substantiates scientific background for development of lubricant compositions used in moulds for concrete products with high-quality surface. It has been shown that consideration of interaction between air bubbles, lubricant and liquid phase of modified concrete is of great importance. A release agent must allow air to migrate to a certain extent and leave “formwork – concrete mix” interface. In this regard the lubricant must have low viscosity. In addition, the lubricant should give maximum hydrophobization to a mould and have minimal adhesion in respect of the concrete mix. Additives of

Адрес для переписки

Юхневский Павел Иванович
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 12,
220113, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-95-87
tbsm@bntu.by

Address for correspondence

Yukhnevskiy Pavel I.
Belarusian National Technical University
12 Ya. Kolasa str.,
220113, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-95-87
tbsm@bntu.by

hydrophobic substances in liquid lubricants significantly reduce surface porosity of products. Chemical plasticizing additives and, in particular, additives of polycarboxylate type substantially reduce surface tension of liquid $\sigma_{гж}$, thereby they significantly reduce work for fixing an air bubble on concrete surface and contribute to its ejection. In addition, adsorbed molecules of the chemical additives interfere with interaction of cement paste particles and mould surface. Polycarboxylate additive molecules diffuse from a diffuse layer of the concrete mix, fill capillaries in the lubricant film, reduce its viscosity, act as additives that regulate spreading of lubricant and facilitate removal of air bubbles in a surface layer. Experimental studies of the combined effect while using low viscosity grease based on vegetable oils and modifying additives have confirmed the above provisions. The polycarboxylate-based additive has made the greatest impact on reduction of concrete surface porosity and content of all types of pores in the concrete has been approximately at the same level.

Keywords: release lubricants, surface tension, wetting angle, chemical plasticizing additives

For citation: Yukhnevskiy P. I., Dimitriadi N. P. (2019) About Synergistic Effect of Lubricant and Chemical Additives on Obtaining Quality Surface of Concrete Products. *Science and Technique*. 18 (4), 303–310. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-18-4-303-310> (in Russian)

В последние годы большое внимание уделяется вопросам повышения эффективности смазок для форм, используемых при производстве железобетонных изделий. Это объясняется возрастающими требованиями к качеству изделий, к степени их заводской готовности, значительным распространением тонкостенных железобетонных конструкций, изготавливаемых из подвижных пластифицированных бетонных смесей. Еще несколько лет назад процесс нанесения смазки на поверхность форм и опалубки рассматривался в технологии бетонных работ в качестве рядовой операции, а вся функциональность материалов сводилась лишь к созданию барьера между бетоном и формой. Чтобы обеспечить такое разделение, технологи применяли большой расход смазочного материала, жертвуя качеством производимых изделий и конструкций.

В зависимости от состава, физико-химических свойств и по технологическим признакам все смазки для форм железобетонных изделий можно разделить на суспензионные, смазки – замедлители схватывания, гидрофобизирующие и комбинированные. Наибольшее распространение получили гидрофобизирующие смазки. Механизм их действия основан на том, что после нанесения на опалубочной поверхности образуется гидрофобная смазочная пленка, являющаяся барьером против всех видов адгезионного взаимодействия бетона с опалубкой. Изучив многочисленные патентные изыскания в области смазок, мы представили состав типовых смазок в виде схемы, приведенной на рис. 1.

Получение качественной поверхности без дефектов не в малой степени зависит от типа и области применения смазки. Большинство опалубок изготавливают из стали или водостойкой

фанеры, популярность набирает пластиковая опалубка. Эти материалы не впитывают воду, либо имеют минимальное водопоглощение. Использование некачественных смазок может привести к нежелательному окрашиванию бетона, удержанию воздушных пузырьков и прочим негативным последствиям. Как правило, при укладке подвижных смесей воздух выходит по разделу поверхностей опалубки и бетонной смеси. Соответственно смазка должна позволять воздуху мигрировать в определенной степени и выходить из поверхности раздела опалубка – бетонная смесь. Для этого смазка должна обладать невысокой вязкостью. Тип опалубки может диктовать способы предварительной подготовки, выбор типа смазки и способы ее нанесения.

С точки зрения технологических требований важно, чтобы смазка в большей степени смачивала материал формы, а в меньшей – поверхность бетона. Минеральные масла вследствие низкой полярности входящих в их состав углеводородов не обеспечивают образование на поверхностях строительных форм эффективной смазывающей пленки, выдерживающей высокие давления и облегчающей распалубку бетонных изделий. Чтобы управлять процессом растекания смазочных материалов, изменяют критическое поверхностное натяжение, вводя добавки или регулируя технологию приготовления смазки. Степень смачивания количественно характеризуют краевым углом смачивания [1] (рис. 2), т. е. угол между касательной к поверхности жидкость – газ и твердой поверхностью с точкой контакта трех фаз и измеряемый всегда внутри жидкой фазы.

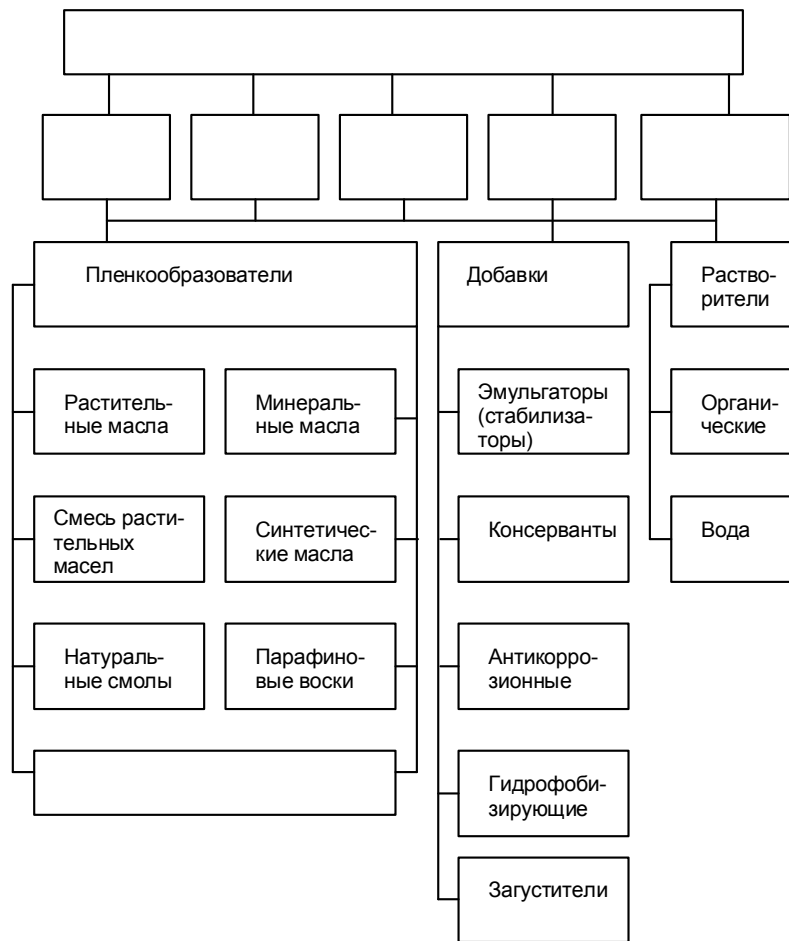


Рис. 1. Структура гидрофобизирующих смазок для форм
 Fig. 1. Structure of hydrophobic lubricants for moulds

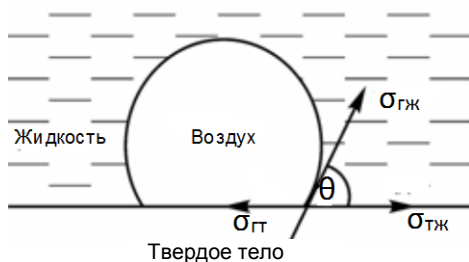


Рис. 2. Краевой угол на границе раздела «твердое тело – жидкость – воздух»
 Fig. 2. Contact angle at “solid – liquid – air interface”

Краевой угол смачивания в равновесных условиях определяется соотношением значений свободной поверхностной энергии (или поверхностного натяжения) трех соприкасающихся фаз:

$$\sigma_{ГТ} - \sigma_{ТЖ} = \sigma_{ГЖ} \cos\theta \quad (1)$$

или

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{ГТ} - \sigma_{ТЖ}}{\sigma_{ГЖ}}, \quad (2)$$

где $\sigma_{ГТ}$, $\sigma_{ТЖ}$, $\sigma_{ГЖ}$ – поверхностное натяжение на границе «газ – твердое тело», «твердое тело – жидкость», «газ – жидкость» соответственно, мДж/м²; θ – краевой угол смачивания.

Связь между работой адгезии и краевым углом смачивания характеризуется уравнением Дюпре – Юнга [1]

$$W_a = \sigma_{ГЖ} (1 + \cos\theta). \quad (3)$$

Если смазка плохо смачивает бетон (бетонную смесь), то $\theta \rightarrow 90^\circ$ и работа адгезии будет минимальной.

Закрепление пузырька газа на твердой поверхности – самопроизвольный процесс, который, согласно второму закону термодина-

мики, может протекать лишь с уменьшением свободной энергии системы. Убыль свободной поверхностной энергии ΔF системы после прилипания пузырька к поверхности, отнесенная к единице вновь образованной поверхности раздела «частица – газ», можно выразить следующим уравнением [1]:

$$\Delta F = \sigma_{\text{гж}} \frac{1 - \cos \theta}{2}. \quad (4)$$

Формула (4) соответствует работе, затраченной на образование единицы площади контакта «твердое тело – газ», когда эта площадь не ограничена гранями частицы, т. е. происходит прикрепление мелкого пузырька к большой поверхности. Закрепление пузырька на поверхности возможно, когда $\Delta F > 0$, т. е. если краевой угол смачивания $\theta > 0$.

Значения поверхностного натяжения для углеводородных минеральных масел типа МС-2 $\sigma_{\text{гж}} = 25,5\text{--}32,9$ мДж/м², веретенного – 31,8, машинного очищенного – 35,7, синтетических масел – 33–34, воды – 72,8 мДж/м² (или 72,8 Н/м) [2].

Как установлено в [3], металлические и деревянные поверхности лучше смачиваются маслом и хуже – водой; цементный камень в бетоне, наоборот, хорошо смачивается водой и плохо – неполярной жидкостью – минеральным маслом. Поэтому при выборе эмульсионных смазок предпочтение следует отдавать обратным эмульсиям, в которых дисперсионной средой является масло, а фазой – вода и находится внутри неполярной жидкости. Такая смазка создает более прочную пленку и лучше удерживается на вертикальных поверхностях.

Кроме снижения адгезии бетона к металлической форме, смазка должна способствовать получению бетонной поверхности с минимальным количеством пор и раковин. В связи с этим большое значение имеет учет взаимодействия между пузырьками воздуха, смазкой и жидкой фазой модифицированного бетона. При этом состав бетона, режимы уплотнения бетонной смеси в меньшей степени влияют на качество поверхности изделий, чем правильно подобранная смазка.

Существенное влияние на качество поверхности железобетонных изделий оказывают

условия контакта заземленных пузырьков воздуха со смазанными поверхностями формы и с бетонной смесью. Изотропный воздушный пузырек значительно легче закрепляется на поверхности металла, покрытой слоем гидрофобной смазки, чем на гидрофильной поверхности бетонной смеси. Это обуславливается как большей поверхностью контакта пузырька с гидрофобной поверхностью (большой угол смачивания со стороны жидкости – смазки), так и большей скоростью прилипания при прочих равных условиях (вязкость жидкости, давление газа). Внутри пузырька создается избыточное давление, зависящее от поверхностного натяжения воды и размера пузырька, например для шара можно записать

$$P = \frac{2\sigma_{\text{гж}}}{R}, \quad (5)$$

где R – радиус кривизны пузырька.

Вероятность коалесценции пузырьков зависит от разности давлений в пузырьках, т. е. от величины

$$\Delta P = 2\sigma_{\text{гж}} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right). \quad (6)$$

Рассмотрим различные случаи закрепления пузырька воздуха между металлом формы и бетонной смесью.

1. Поддоном служит несмазанный участок формы с налипшим слоем бетона (рис. 3а). Пузырек находится в неравновесных условиях. Под действием массы бетонной смеси в процессе уплотнения удастся обычно удалить часть водной прослойки и закрепить пузырек на поверхности, но не очень прочно.

2. Поддон формы покрыт слоем консистентной смазки (солидол, стеарино-вазелиновая смазка) или гидрофобной пластмассы (рис. 3б). Воздушный пузырек мгновенно прилипает к такой поверхности и находится в прослойке воды или цементного молока.

3. Поверхность формы смазана жидкой гидрофобной смазкой (минеральным маслом, рис. 3с). Под действием массы бетонной смеси пузырек раздвигает слой смазки и более прочно закрепляется на поверхности формы.

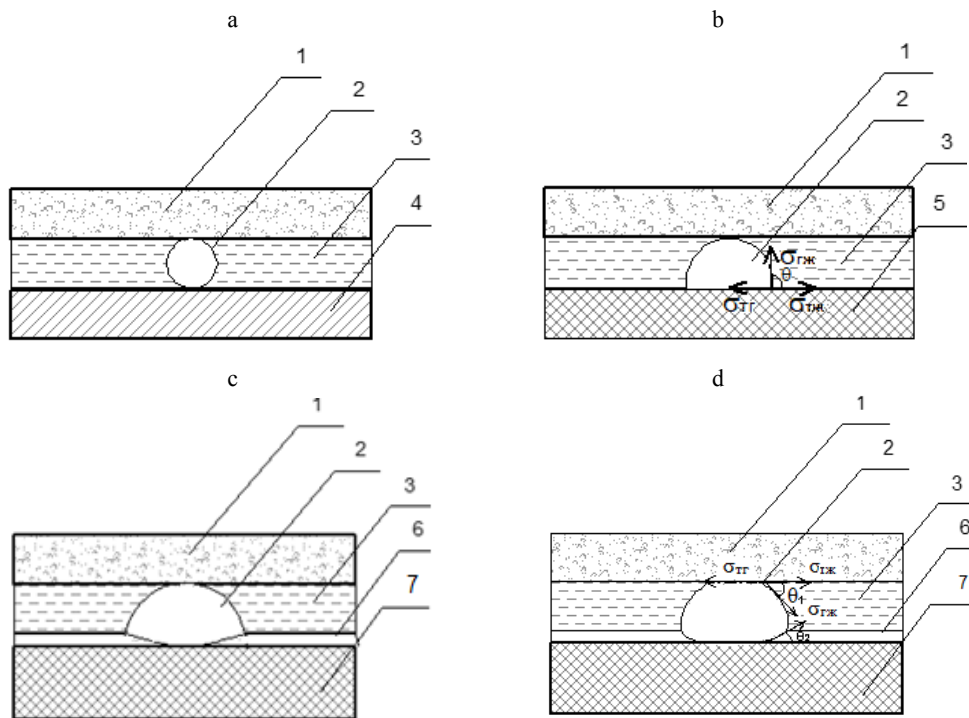


Рис. 3. Схема закрепления воздушного пузырька на бетонной смеси и форме: а, б – на поверхности из гидрофильного и гидрофобного твердого материала соответственно; с – на поверхности металла, покрытого жидкой смазкой; д – то же, при контакте с модифицированной бетонной смесью; 1 – бетонная смесь; 2 – воздушный пузырек; 3 – прослойка воды (цементного молока); 4 – затвердевший бетон; 5 – гидрофобная пластмасса (консистентная смазка); 6 – слой минерального масла; 7 – стальная форма

Fig. 3. Scheme of fixing air bubble on concrete mix and mould: a, b – on surface of hydrophilic and hydrophobic solid material, respectively; c – on surface of metal coated with liquid lubricant; d – the same when in contact with modified concrete mix; 1 – concrete mix; 2 – air bubble; 3 – layer of water (cement milk); 4 – hardened concrete; 5 – hydrophobic plastic (grease); 6 – mineral oil layer; 7 – steel mould

Таким образом, для максимального закрепления пузырьков воздуха на форме и уменьшения количества раковин на поверхности бетона решающее значение имеет сам факт ее гидрофобности. Одновременно недопустимо оставлять на поверхности формы налипший бетон или наносить смазку неравномерным слоем, оставляя несмазанные участки, так как вследствие плохого прилипания пузырьков воздуха будет ухудшаться качество поверхности изделий.

На прочность прилипания пузырьков воздуха заметное влияние оказывает шероховатость поверхности формы, а именно: на шероховатой поверхности значения краевых углов смачивания, как правило, ниже равновесных [4], а пузырьки отрываются меньших размеров. При вибрации отрыв пузырьков облегчается. При этом, чем выше краевой угол смачивания и площадь прилипания, тем меньше вероят-

ность отрыва его от подложки. Таким образом, смазки должны придавать максимальную гидрофобизацию поверхности формы и обладать минимальной адгезией к бетонной смеси. Добавки гидрофобизирующих веществ в жидкие смазки существенно снижают поверхностную пористость изделий.

В настоящее время основной объем бетонных смесей укладывается с применением пластифицирующих добавок, что несколько изменяет механизм взаимодействия смеси с поверхностью смазки. На практике применяют пластифицирующие добавки двух видов: пластификаторы (суперпластификаторы) и гиперпластификаторы (добавки на поликарбоксилатной основе). Как известно [5], в начальный период взаимодействия минералов цемента с водой молекулы добавок пластификаторов равномерно распределены во всей воде затворения. По мере гидролиза цемента в процессе

хемосорбции молекулы добавки суперпластификатора за счет не связанных с поверхностью ионогенных групп создают вокруг частиц цементного геля структурированный гидратный слой, одновременно вытесняют часть молекул воды из адсорбционного слоя в диффузный, где они удерживаются значительно слабее и располагаются неупорядоченно. При этом низкомолекулярные добавки – олигомеры, как правило, адсорбируются в виде цепи, а в случае высокомолекулярных добавок с привитыми боковыми цепями последние ориентируются перпендикулярно поверхности, выходя за пределы диффузного слоя, препятствуя сближению частиц. При низкой концентрации добавок в диффузном слое преобладает первый способ закрепления, при высокой – второй.

В процессе адсорбции не все функциональные группы добавки связываются поверхностью. Часть активных групп и отдельные сегменты добавки ориентированы в диффузный слой и способствуют формированию его пространственной структуры (добавки-гиперпластификаторы). Боковые цепи и сегменты добавок за счет латеральных взаимодействий гидрофобных радикалов, полярных частей молекулы, за счет сил стерического отталкивания способствуют пластификации цементных композиций.

Таким образом, если при адсорбции суперпластификаторов можно считать не изменяется гидрофильность бетонной смеси, то за счет адсорбции гиперпластификаторов и упорядоченной ориентации углеводородных частей молекулы гидрофильность поверхностного слоя бетонной смеси снижается, что может способствовать закреплению пузырька воздуха (рис. 3d). Одновременно, как показано в [6], поликарбоксилатные пластификаторы уже при концентрации в растворе 0,25 % снижают поверхностное натяжение жидкости $\sigma_{гж}$ на 21–22 %, в то время как обычные пластификаторы – только на 5–6 %. Таким образом, поликарбоксилаты, снижая поверхностное натяжение жидкости, существенно уменьшают работу по закреплению воздушного пузырька на поверхности бетона и способствуют его выталкиванию. Кроме того, адсорбированные молекулы химдобавок препятствуют взаимодей-

ствию частиц цементного теста с поверхностью формы.

В случае вертикальной поверхности (рис. 3d), если углы смачивания θ_1 и $\theta_2 \rightarrow 0$, то согласно формуле (4) и сила закрепления пузырька воздуха на форме или бетоне $\Delta F \rightarrow 0$. При любых углах смачивания выталкиванию пузырька будет способствовать снижение величины $\sigma_{гж}$.

Известно [7], что масляные пленки на металлической поверхности пронизаны сообщающимися капиллярами и обладают высокой влагопроницаемостью. При хорошем смачивании жидкостью поверхности масляной пленки, когда $\theta \rightarrow 0$ ($\cos\theta \rightarrow 1$), капля не создает напора. В случае плохого смачивания поверхности, когда $\theta \rightarrow 90^\circ$ ($\cos\theta \rightarrow 0$), высота напора, создаваемого каплей, может достигать 79 % от максимальной величины. Под воздействием подкапельного напора возникает зона локальной деформации смазочного покрытия, способствующая увеличению длины и диаметра капилляра. При этом сама капля исполняет роль насоса и резервуара, из которого жидкость и растворенные в ней вещества под давлением нагнетаются в капилляры покрытия.

Молекулы добавок поликарбоксилатов диффундируют из диффузного слоя бетонной смеси, заполняют капилляры в смазочной пленке, снижают ее вязкость, играют роль присадок, регулирующих процесс растекания смазки и облегчающих удаление пузырьков воздуха в поверхностном слое. Согласно [8], присадки должны удовлетворять следующим требованиям: подходить по химическому составу и концентрации, растворяться в базовом масле, адсорбироваться на металле и создавать пленку, снижать поверхностное натяжение базового масла не менее чем на 5 мДж/м², обладать малой летучестью и химической стабильностью на твердом теле. В качестве присадок, в наибольшей степени снижающих вязкость смазочных составов и улучшающих их растекаемость, применяют сложные эфиры жирных кислот. С этой целью в составе смазок используют также поликарбоксилаты [8, 9].

Для проверки вышеприведенных положений авторами проведены опыты по определению влияния химических добавок-пластификаторов бетона на его поверхностную пористость. Для при-

готовления бетонной смеси применяли портландцемент ЦЕМ I 42,5Н по ГОСТ 31108–2003 с нормальной густотой 27,5 %, кварцевый песок ($M_k = 2,2$) и гранитный щебень РУПП «Гранит» фракции 5–10, которую перемешивали в бетономешалке принудительного действия. Составы бетонов приведены в табл. 1. Образцы диаметром 100 мм изготавливали по СТБ 1707–2006, а поверхностную пористость определяли в возрасте трех суток нормально-влажностного твердения. Для смазки формы бы-

ла применена ранее разработанная на РУП «Институт БелНИИС» низковязкая смазка на основе отечественных растворителей и масел [10].

Для оценки пористости проводилось фотографирование поверхности образцов с последующей цифровой обработкой и подсчетом количества площадей отдельных раковин. Далее выполнялась сортировка раковин по диаметрам и на основании полученного массива данных строился график поверхностной (интегральной) пористости (рис. 4).

Таблица 1

Составы бетонов для исследования совместного влияния смазки и модифицирующих добавок
Compositions of concrete to study joint effect of lubricant and modifying additives

Номер состава	Расход компонентов смеси, кг				Количество добавки, % от массы цемента, и вид	Осадка конуса, см
	Цемент	Песок	Щебень	Вода		
1	250	850	1060	207	Без добавки	4,5
2	250	850	1060	207	0,45 % Линамикс П120 – полинафталинсульфонаты + лигносульфонаты	19
3	250	850	1060	207	0,5 % Линамикс СП-180 – полинафталинсульфонаты	18
4	250	850	1060	207	0,25 % Реламикс ПК – поликарбоксилаты	18
5	250	850	1060	207	0,05 % ХИДЕТАЛ-П-8 – воздухововлекающая	5
6	250	850	1060	207	0,15 % ХИДЕТАЛ-П-8 – воздухововлекающая	8
7	250	850	1060	207	0,1 % Софэксил-1520А – пеногаситель	5
8	250	850	1060	207	0,2 % Софэксил-1520А – пеногаситель	5

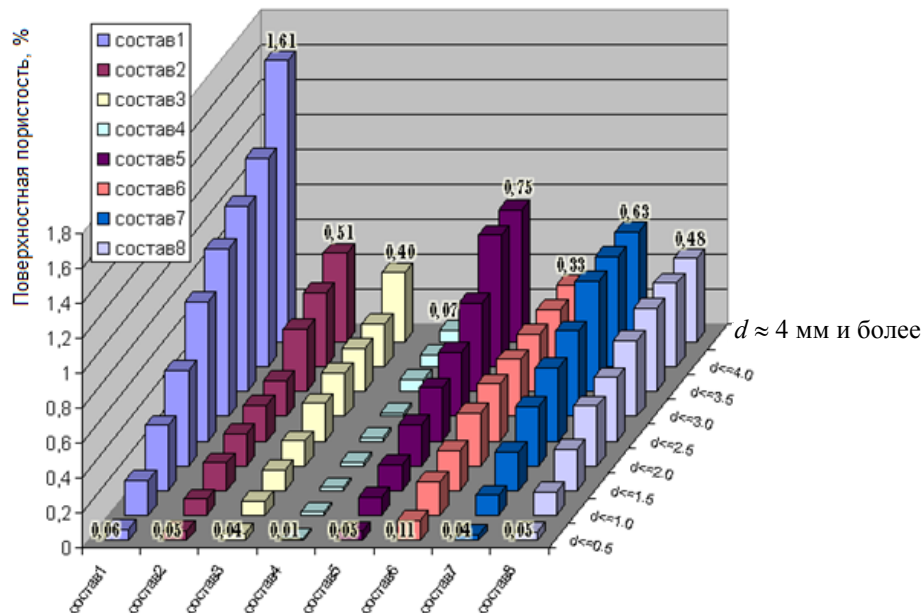


Рис. 4. Совместное влияние добавок в бетон и смазки на поверхностную пористость.

Номера составов и вид добавки соответствуют табл. 1

Fig. 4. Combined effect of additives in concrete and lubricants on surface porosity.

Composition numbers and type of additive correspond to tab. 1

Как видно из рис. 4, введение добавок способствует снижению поверхностной пористости бетона. Воздухововлекающая добавка «ХИ-ДЕТАЛ» на равноподвижной смеси в два раза снизила поверхностную пористость бетона, причем с увеличением количества добавки эффект возрастает. Необходимо отметить, что все добавки, включая пеногаситель, практически не влияют на содержание пор диаметром менее 0,5 мм (микропоры), одновременно снижают объем более крупных пор в бетоне. Наибольшее влияние на снижение пористости оказала добавка на поликарбоксилатной основе (табл. 1, состав 4), при этом содержание всех размеров пор примерно на одном уровне.

Таким образом, для равноподвижных бетонных смесей с добавками-пластификаторами на величину поверхностной пористости влияет химическое строение вводимого в бетонную смесь пластификатора.

ВЫВОДЫ

1. При формировании изделий из модифицированного бетона разделительная смазка для форм должна быть назначена таким образом, чтобы проявился синергетический эффект смазки и добавки-пластификатора в части снижения поверхностной пористости бетона.

2. Выталкиванию пузырьков воздуха на вертикальной поверхности способствует повышение сродства пузырька со смазкой и с бетонной смесью, а в результате – снижение $\sigma_{гж}$ как в отношении смазки, так и цементного молока. Химические добавки для бетона, снижающие поверхностное натяжение на границе «газ – жидкость», способствуют снижению поверхностной пористости бетонных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дерягин, Б. В. Поверхностные силы / Б. В. Дерягин, Н. В. Чураев, В. М. Муллер. М.: Наука, 1985. 398 с.
2. Беренсон, С. П. Химическая технология очистки деталей двигателей внутреннего сгорания / С. П. Беренсон. М.: Транспорт, 1967. 268 с.
3. Довжик, О. И. Эффективные смазки в производстве сборного железобетона / О. И. Довжик, В. Б. Ратинов. М.: Стройиздат, 1966. 138 с.
4. Мацкевич, А. Ф. Смазки и защитные покрытия для опалубки монолитного железобетона / А. Ф. Мацкевич. М.: Стройиздат, 1971. 23 с.
5. Юхневский, П. И. Влияние химической природы добавок на свойства бетонов / П. И. Юхневский. Минск: БНТУ, 2013. 309 с.
6. Морозов, Н. М. Влияние пластифицирующих добавок на свойства песчаных бетонов [Электронный ресурс] / Н. М. Морозов, Н. М. Красникова, С. В. Степанов. http://www.rusnauka.com/15_APSN_2011/Stroitelstvo/3_87805.doc.htm. Дата доступа: 20.12.2018.
7. Князева, Л. Г. Влагопроницаемость пленок масляных покрытий / Л. Г. Князева, А. И. Петрашев // Наука в центральной России. 2013. № 5. С. 59–68.
8. Tabor, D. Silicone Fluids. Their Action as Boundary Lubricants / D. Tabor, W. O. Winer // ASLE Transactions. 1965. Vol. 8, No 1. P. 69–77. <https://doi.org/10.1080/05698196508972080>.
9. Смазочные материалы и проблемы экологии / А. Ю. Евдокимов [и др.]. М.: Нефть и газ РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2000. 424 с.
10. Синтез низковязких разделительных смазок на основе отечественных растворителей и масел с улучшенными органолептическими показателями / Н. Г. Бурсов [и др.] // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. Минск: Колорград, 2017. С. 32–41.

Поступила 21.01.2019

Подписана в печать 26.03.2019

Опубликована онлайн 31.07.2019

REFERENCES

1. Deryagin B. V., Churaev N. V., Muller V. M. (1985) *Surface Forces*. Moscow, Nauka Publ. 398 (in Russian).
2. Berenson S. P. (1967) *Chemical Technology for Cleaning Parts of Internal Combustion Engine*. Moscow, Transport Publ. 268 (in Russian).
3. Dovzhik O. I., Ratinov V. B. (1966) *Efficient Lubrication in Production of Prefabricated Reinforced Concrete*. Moscow, Stroyizdat Publ. 138 (in Russian).
4. Matskevich A. F. (1971) *Lubrication and Protective Coatings for Formwork of Insitu Reinforced Concrete*. Moscow, Stroyizdat Publ. 23 (in Russian).
5. Yukhnevskiy P. I. (2013) *Influence of Additive Chemical Nature on Concrete Properties*. Minsk, Belarusian National Technical University. 309 (in Russian).
6. Morozov N. M., Krasnikova N. M., Stepanov S. V. (2011) *Influence of Plasticizing Agent on Properties of Sand Concrete*. Available at: http://www.rusnauka.com/15_APSN_2011/Stroitelstvo/3_87805.doc.htm. (Accessed 20 December 2018) (in Russian).
7. Knyazeva L. G., Petrashev A. I. (2013) Moisture Permeability of Oil Coating Films. *Nauka v tsentralnoy Rossii [Science in Central Russia]*, (5), 59–68 (in Russian).
8. Tabor D., Winer W. O. (1965) Silicone Fluids. Their Action as Boundary Lubricants. *ASLE Transactions*, 8 (1), 69–77. <https://doi.org/10.1080/05698196508972080>.
9. Evdokimov A. Yu., Fuks I. G., Shabalina T. N., Bagdasarov L. N. (2000) *Lubrication Materials and Ecological Problems*. Moscow, Neft' i Gaz. Gubkin Russian State Oil and Gas University. 424 (in Russian).
10. Bursov N. G., Dimitriadi N. P., Ivashko L. I., Yukhnevskiy P. I. (2017) Synthesis of Low-Viscosity Parting Lubricants Based on Domestically-Made Solvents and Oils with Improved Organoleptic Characteristics. *Problemy Sovremennogo Betona i Zhelezobetona: Sb. Nauch. Tr. [Problems of Modern Concrete and Reinforced Concrete: Collection of Scientific Papers]*. Minsk, Kolorgrad Publ., 32–41.

Received: 21.01.2019

Accepted: 26.03.2019

Published online: 31.07.2019