

3. Иноземцев А. С., Королев Е. В. Исследование эффективности ультразвукового воздействия для диспергирования углеродных наномодификаторов // Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях: сб. докладов IV Международной научно-практической конференции. – М.: МГСУ, 2012. – С. 45–48.
4. Горшков В. С., Савельев В. Г., Федоров Н. Ф. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений. – М.: Высшая школа, 1988. – 400 с.
5. Воюцкий С. С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1976. – 512 с.
6. Самченко С. В., Борисенкова И. В. Применение пластифицирующих добавок для стабилизации углеродных нанотрубок // III Международный семинар-конкурс молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей: сб. докладов. – СПб.: Алитинформ, 2012. – С. 20–24.
7. Васильев В. П. Аналитическая химия. Кн. 1. Титриметрические и гравиметрические методы анализа. – М.: Дрофа, 2009. – 366 с.

## REFERENCES

1. Korolev E. V., Kuvshinova M. I. Ultrasound parameters for homogenizing disperse systems with nanoscale modifiers. *Stroitel'nye materialy*, 2010, no. 9, pp. 120–126 (in Russian).
2. Korolev E. V., Inozemtsev A. S. Effectiveness of physical impacts to disperse nanoscale modifiers. *Stroitel'nye materialy*, 2012, no. 1, pp. 1–4 (in Russian).
3. Inozemtsev A. S., Korolev E. V. Research of the effectiveness of ultrasonic influence for dispersion of carbon nanomodifiers. *Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi – put' k obshchestvu, osnovannomu na znaniyakh: sb. dokladov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow: MGSU, 2012, pp. 45–48 (in Russian).
4. Gorshkov V. S., Savel'ev V. G., Fedorov N. F. *Fizicheskaya khimiya silikatov i drugikh tugoplavkikh soedineniy* [Physical chemistry of silicates and other refractory compounds]. Moscow: Vysshaya shkola, 1988, 400 p (in Russian).
5. Voyutskiy S. S. *Kurs kolloidnoy khimii* [Rates of colloid chemistry]. Moscow: Khimiya, 1976, 512 p (in Russian).
6. Samchenko S. V., Borisenkova I. V. The use of plasticizing additives for stabilizing carbon nanotubes. *III Mezhdunarodnyy seminar-konkurs molodykh uchenykh i aspirantov, rabotayushchikh v oblasti vyazhushchikh veshchestv, betonov i sukhikh smesey: sb. dokladov*. St. Petersburg: Alitinform, 2012, pp. 20–24 (in Russian).
7. Vasil'ev V. P. *Analiticheskaya khimiya. Kn. 1. Titrimetricheskie i gravimetricheskie metody analiza* [Analytical chemistry. Book 1. Titrimetric and gravimetric methods of analysis]. Moscow: Drofa, 2009, 366 p (in Russian).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА В КАЧЕСТВЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ

**В. А. Свицерский, В. В. Токарчук, А. Ю. Флейшер,**  
**Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина**

**Ключевые слова:** пластифицирующая добавка, водоредуцирующая добавка, нормальная густота, растекаемость цементного раствора, прочность на сжатие

**Key words:** plasticizer, water reducing additive, normal density, cement spreadability, compressive strength

### Введение

Использование пластифицирующих/водоредуцирующих добавок уже давно стало обычной практикой в строительной индустрии. Этот класс добавок был разработан и внедрен в Японии и Германии в начале 1960-х годов, а в США – в середине 1970-х годов. Пластифицирующая/водоредуцирующая добавка – эта добавка, которая без изменения консистенции способствует снижению содержания воды в данной бетонной/растворной смеси (водоредуцирующий эффект) или без изменения содержания воды увеличивает осад-

ку/расплав смеси (пластифицирующий эффект), либо обеспечивает оба эффекта одновременно [1].

С точки зрения химической структуры, пластифицирующие/водоредуцирующие добавки можно разделить на три большие группы. Первая группа представлена пластификаторами – побочными продуктами производства бумаги (лигносульфонатами и различными их модификациями). Вторая группа включает поли-β-нафталин сульфонат и полимеламин сульфонат, а также продукты их конденсации с формальдегидом. В третью группу входят органические полимерные соединения с карбоксильными функциональными группами – так называемые гиперпластификаторы [2]. Эта группа объединяет добавки на основе полимеров производных ненасыщенных органических кислот (акриловой, метакриловой, кротоновой, малеиновой, фумаровой и др.) под общим названием поликарбоксилаты. Данное название подчеркивает общность их основы: полимерная цепь, образованная α- и β-ненасыщенными карбоновыми кислотами, а все вторичные признаки (соотношение между кислотными и сложноэфирными группами, наличие или отсутствие дополнительных функциональных групп) лишь определяют различия в химическом составе и достигаемых технологических эффектах.

В настоящее время годовое потребление поликарбоксилатов в мировой промышленности строительных материалов составляет около 150 тыс. т, нафталин и меламин сульфонатов – 550 тыс. т, а лигносульфонатов – 700 тыс. т [3].

Следует отметить, что какими бы положительными качествами не характеризовалась каждая из групп добавок, у них есть свои недостатки. Так, технические лигносульфонаты относятся к экологически безвредным разжижителям, однако при использовании их в немодифицированном виде происходит существенное снижение прочности бетона. Между тем существующие методы модифицирования сопряжены с образованием вредных побочных продуктов [4].

Достаточно эффективные суперпластификаторы на основе нафталина и меламина отличаются неудовлетворительными экологическими показателями. Это относится к суперпластификаторам С-3, 10-03, Дофен, Мелмент, а также к тем пластификаторам, в состав которых входят соединения бензола, нафталина, фенола и формальдегида [5]. Данные суперпластификаторы способствуют снижению текучести и, следовательно, их приходится добавлять в бетонные смеси в относительно больших количествах для того, чтобы добиться адекватного уменьшения количества затворяющей воды.

Один из главных недостатков гиперпластификаторов заключается в необходимости их целенаправленного синтеза (хотя известны попытки синтеза этой группы пластификаторов из отходов промышленности), что значительно увеличивает их стоимость по сравнению со стоимостью других групп пластифицирующих добавок, представляющих собой отходы. Кроме того, поликарбоксилатные гиперпластификаторы способствуют вовлечению в бетонную/растворную смесь пузырьков воздуха во время перемешивания, что может негативно сказаться на росте механической прочности. Еще один недостаток поликарбоксилатных гиперпластификаторов – снижение скорости гидратации цемента, особенно при высоких дозах и в неблагоприятных климатических условиях, в частности, при низких температурах, типичных для зимнего времени. Это ограничивает их применение вследствие медленного роста механической прочности в первые часы гидратации. Для устранения данного недостатка в коммерческие продукты вводят ускоряющие добавки (нитрат кальция и алканол амины), но такие растворы имеют практические ограничения из-за недостаточной стабильности образующихся смесей, требуют более высоких оптимальных концентраций и отличаются значительной стоимостью [6].

Помимо указанных соединений в качестве альтернативных пластификаторов разной степени эффективности используют и промышленные отходы. Среди них отходы целлюлозно-бумажной промышленности (сульфитно-дрожжевая бражка в натуральном виде и модифицированная, отходы пиролиза нефти, нейтрализованный черный контакт, скрубберная паста), отходы пищевой промышленности (гидролизная кровь, молочная сыворотка, упаренная последрожжевая барда), отходы микробиологической промышленности (бросовые воды тетрациклина, мицелярная белковая масса, отработанный раствор олеандомицина, последрожжевые остатки), отходы химической промышленности (кубовые остатки разных производств, нейтрализованные акрилатные отходы, отходы хлорвинилового производства, солевые отходы дифениламина, сульфатные стоки различных производств), отходы легкой про-

мышленности (гидролизат кожевенного производства, отходы мыловаренного производства). Все перечисленные альтернативные пластификаторы характеризуются одним существенным недостатком – низкой или средней эффективностью, что обуславливает их применение только в качестве местных добавок [7]. Дальнейшее развитие производства пластифицирующих добавок связывают с синтезом новых видов и структур поликарбоксилатных соединений либо с модификацией лигносульфонатов.

Цель данной работы – поиск новых веществ и соединений, оказывающих сильное пластифицирующее воздействие на цемент и цементный раствор и при этом представляющих собой отходы промышленности или хозяйственной деятельности. К таким продуктам относятся отработанное подсолнечное масло, количество которого в последние годы увеличивается. Крупный «производитель» подобных отходов – учреждения быстрого питания (например, McDonald's). Один из способов рециклинга отработанного подсолнечного масла, заключающийся в химической переработке и последующем использовании полученных продуктов в строительной индустрии, предложен в настоящей статье.

## Сырьевые материалы и методы исследования

При проведении исследований применяли обычный портландцемент марки 500 (тип I) производства ОАО «Волынь-Цемент». Эталонными образцами служили три вида химических добавок промышленного производства: пластификатор (П) – добавка на основе модифицированных лигносульфонатов, суперпластификатор (СП) – добавка на основе модифицированных лигносульфонатов, не содержащих сахар, и карбоксилатов, гиперпластификатор (ГП) – добавка на основе поликарбоксилатов.

В качестве опытных добавок-пластификаторов использовали продукты взаимодействия компонентов отработанного растительного (подсолнечного) масла с алканолами в присутствии щелочного катализатора КОН при разной температуре, различной продолжительности реакции и разных соотношениях реагирующих масс. Основными реакциями, протекающими в реакционной смеси, являются реакции переэтерификации триглицеридов алканолами (рис. 1), реакции образования диэтаноламидов жирных кислот (рис. 2) и реакция омыления триглицеридов (рис. 3).

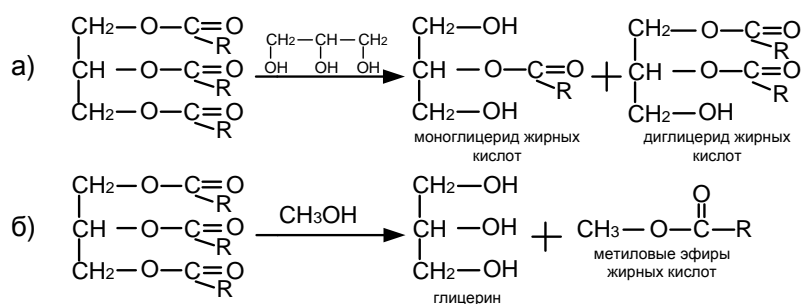


Рис. 1. Реакции переэтерификации триглицеридов глицерином (а) и этанолом (б)

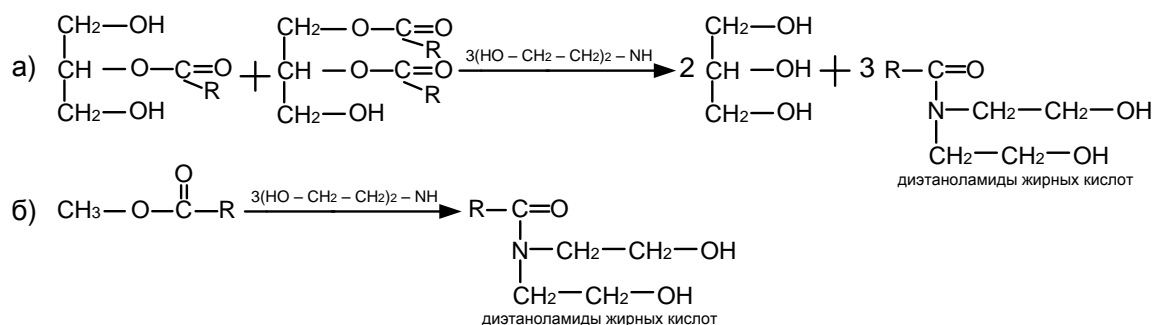


Рис. 2. Реакции получения диэтаноламидов жирных кислот из глицерида жирных кислот (а) и из метилового эфира жирных кислот (б)

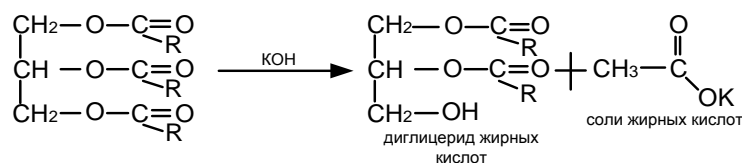


Рис. 3. Реакция омыления триглицеридов

Добавка Д-148 представляет собой смесь диэтаноламида жирных кислот отработанного подсолнечного масла и небольших количеств солей жирных кислот отработанного подсолнечного масла с диэтаноламином и глицерином, а добавки Д и Д-149-2 – смесь диэтаноламида жирных кислот отработанного подсолнечного масла, небольших количеств метиловых эфиров и солей жирных кислот отработанного подсолнечного масла с диэтаноламином и глицерином. Добавки Д и Д-149-2, имеющие одинаковый качественный состав, различаются количественным составом и условиями синтеза (температура, продолжительность реакции). Все опытные добавки применяли в растворе с водой в соотношении 1:3.

Эффективность опытных добавок оценивали по следующим показателям: прочность на сжатие, нормальная густота, растекаемость цементного раствора.

Прочность на сжатие определяли на образцах-кубиках размером 20x20x20 мм из цемента и соответствующего количества добавки через 1, 3 и 28 сут твердения во влажных условиях в соответствии с методикой [8].

Технические характеристики всех использованных добавок приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Технические характеристики пластифицирующих/водоредуцирующих добавок**

Добавка	Плотность готового раствора, г/см <sup>3</sup>	pH готового раствора	Масса нелетучего остатка, %
П	1,19	–	59,1
СП	1,13	–	47,3
ГП	1,07	8	45,0
Д-148	0,99	7–8	100,0
Д	0,98	7	100,0
Д-149-2	0,98	7–8	100,0

Нормальную густоту цементного теста устанавливали на мини-приборе Вика по методике [9].

Пластифицирующий эффект добавки оценивали путем сопоставления консистенции цементного раствора основного состава и консистенции цементного раствора контрольного состава. Изменение консистенции определяли по изменению осадки мини-конуса по методике с использованием встряхивающего столика [10].

**Результаты и обсуждение**

Наиболее существенная характеристика пластифицирующих добавок – пластифицирующий эффект, т. е. степень изменения подвижности бетонной/растворной смеси при введении в нее модификатора. Поскольку некоторые пластификаторы с увеличением подвижности бетонной/растворной смеси одновременно замедляют рост прочности в ранние сроки, для оценки пластифицирующего эффекта используют понятие «эффективное пластифицирующее действие», под которым подразумевают эффект, достигаемый в результате применения пластификатора без снижения прочности [11].

Данные об изменении нормальной густоты цементного теста при введении добавок приведены в табл. 2, консистенции цементного раствора – в табл. 3, прочности цементных образцов – в табл. 4 и 5.

На основании данных об изменении нормальной густоты цементного теста можно сделать вывод о том, что по эффективности все три опытные добавки подобны коммерческому гиперпластификатору. Снижение нормальной густоты цементного теста при использовании гиперпластификатора составило 0–43%, а при применении добавки Д-148 – 4–48%, добавки Д – 4–39%, добавки Д-149-2 – 2–48%.

Т а б л и ц а 2

**Нормальная густота цементного теста**

Содержание добавки, мас. %	Нормальная густота, %					
	П	СП	ГП	Д-148	Д	Д-149-2
0	26,5	27,0	27,0	25,0	29,5	25,0
0,04	27,0	27,0	27,0	24,0	28,5	24,5
0,08	26,5	27,0	27,0	24,0	29,5	24,5
0,2	25,5	25,5	25,5	22,5	28,0	22,5
0,6	23,0	22,5	20,5	18,0	22,0	18,0
1,0	22,5	21,0	17,0	15,5	20,0	15,5
1,4	22,0	20,0	15,5	13,0	18,0	13,0

Т а б л и ц а 3

**Консистенция (диаметр осадки мини-конуса) цементного раствора**

Содержание добавки, мас. %	Диаметр осадки мини-конуса, мм					
	П	СП	ГП	Д-148	Д	Д-149-2
0	120	120	120	120	120	120
0,04	148	145	150	179	130	207
0,08	159	172	164	198	123	218
0,2	163	188	181	201	133	165
0,6	177	196	205	195	190	169
1,0	194	197	218	178	258	203
1,4	186	198	220	178	271	270

Т а б л и ц а 4

**Прочность цементных образцов с промышленными добавками**

Содержание добавки, мас. %	П			СП			ГП		
	Прочность на сжатие, МПа			Прочность на сжатие, МПа			Прочность на сжатие, МПа		
	1 сут	3 сут	28 сут	1 сут	3 сут	28 сут	1 сут	3 сут	28 сут
0	14,3	25,6	34,9	21,5	34,0	40,5	23,6	33,8	45,4
0,04	15,3	31,8	39,5	18,8	28,6	38,1	16,4	36,0	42,1
0,08	14,8	26,5	32,9	15,9	30,5	50,4	17,8	29,3	42,4
0,2	10,5	27,8	40,1	20,0	37,0	42,1	15,9	39,0	39,8
0,6	7,3	24,5	43,3	11,6	33,9	35,4	12,0	29,5	42,9
1,0	0	25,6	41,1	0	32,8	37,9	11,4	33,1	54,8
1,4	0	3,8	36,8	0	27,5	38,4	5,1	31,8	43,8

Т а б л и ц а 5

**Прочность цементных образцов с опытными добавками**

Содержание добавки, мас. %	Д-148			Д			Д-149-2		
	Прочность на сжатие, МПа			Прочность на сжатие, МПа			Прочность на сжатие, МПа		
	1 сут	3 сут	28 сут	1 сут	3 сут	28 сут	1 сут	3 сут	28 сут
0	17,8	30,5	39,5	12,1	30,5	40,5	17,4	32,0	32,4
0,04	20,8	32,4	35,4	9,1	24,1	37,0	15,0	31,5	31,5
0,08	16,4	23,6	33,3	5,9	19,0	31,4	15,9	28,5	30,6
0,2	16,5	26,3	48,5	5,6	18,0	33,3	11,3	27,3	27,4
0,6	12,1	21,4	24,0	4,0	17,5	24,5	10,6	28,3	28,4
1,0	11,5	21,8	26,4	0,5	15,9	22,3	7,3	20,4	20,6
1,4	0	17,5	28,4	0,0	17,9	28,7	7,0	20,3	20,8

Результаты исследования растекаемости цементного раствора показали, что опытные пластифицирующие добавки серии Д эффективны при значительно меньшей концентрации, чем коммерческий гиперпластификатор. Добавку Д-148, обеспечивающую максимальный эффект при концентрации 0,08–0,2 мас. %, можно отнести к группе суперпластификаторов. Следующий вариант опытной добавки оказался гораздо более эффективным, чем коммерческий гиперпластификатор, однако оптимальная концентрация добавки Д высока – 1,0–1,4 мас. %. Наиболее приемлемой следует признать модификацию Д-149-2, которая проявляет максимальный эффект при минимальной концентрации (0,04–0,08 мас. %); в зависимости от концентрации эту добавку можно использовать и как супер-, и как гиперпластификатор.

При оценке эффективности добавок следует учитывать не только достигаемый при их использовании в определенной концентрации пластифицирующий эффект, но и спады прочности, которые могут уменьшить положительное воздействие добавок на цемент. Данные об изменении прочности образцов при введении пластифицирующих добавок через 1, 3 и 28 сут твердения (в процентном выражении) приведены соответственно на рис. 4, 5 и 6.

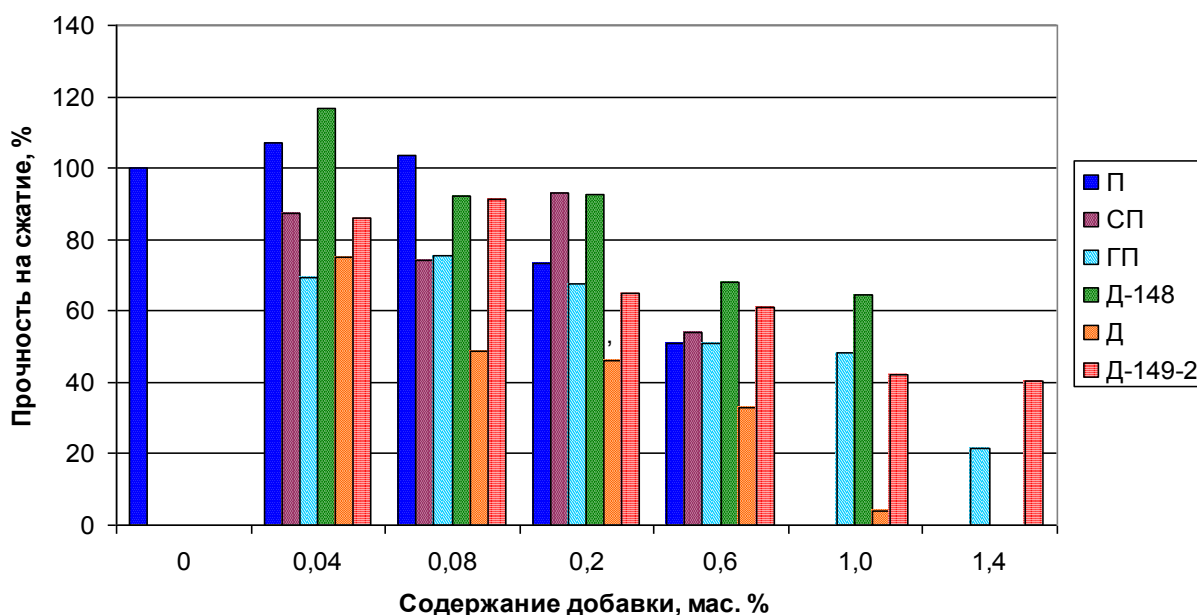


Рис. 4. Прочность на сжатие образцов с пластифицирующими добавками через 1 сут твердения

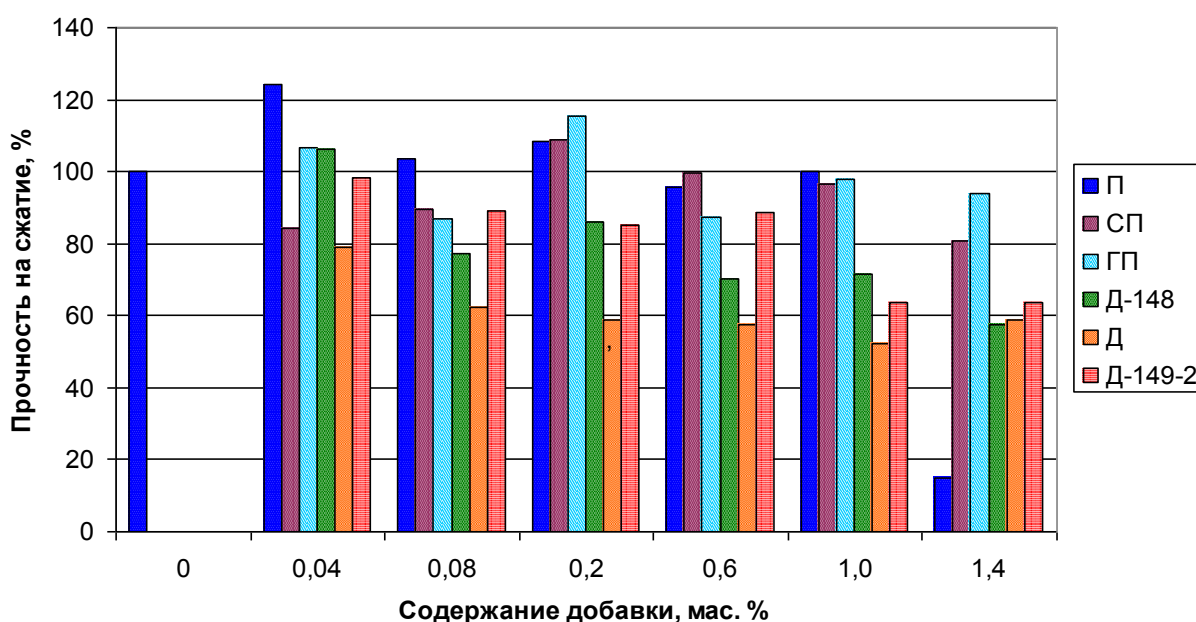


Рис. 5. Прочность на сжатие образцов с пластифицирующими добавками через 3 сут твердения

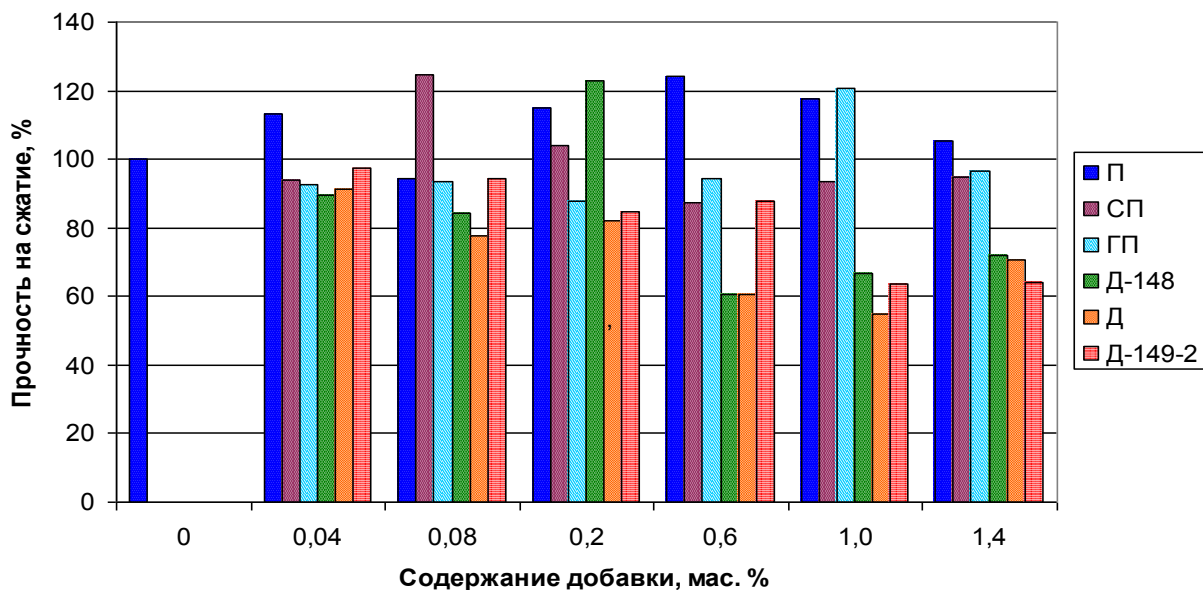


Рис. 6. Прочность на сжатие образцов с пластифицирующими добавками через 28 сут твердения

При оптимальной концентрации добавки П 1,0 мас. % достигается наибольшая растекаемость цементного раствора и не наблюдаются спады прочности через 3 и 28 сут твердения. Однако в возрасте 1 сут пластифицированный цемент вообще не набрал прочности. Оптимальной концентрацией добавки СП можно считать диапазон 0,6–1,4 мас. %. При такой концентрации обеспечивается наибольшая растекаемость цементного раствора, однако фиксируются спады прочности разной величины. Для добавки ГП оптимальная концентрация находится в пределах 1,0–1,4 мас. %. При данной концентрации растекаемость цементного раствора максимальна, спады прочности цементных образцов через 3 и 28 сут твердения отсутствуют, хотя в возрасте 1 сут набор прочности значительно замедлен.

Оптимальная концентрация добавки Д-148 составляет 0,2 мас. %. Растекаемость цементного раствора максимальна, спады прочности через 1 и 3 сут твердения относительно невелики, а в возрасте 28 сут прочность опытных образцов существенно превышает прочность контрольного образца. Добавка Д не продемонстрировала какой бы то ни было эффективности: при максимальной растекаемости (концентрация 1,0–1,4 мас. %) отмечаются большие спады прочности. При оптимальной концентрации добавки Д-149-2 0,04–0,08 мас. % достигается наибольшая растекаемость, а спады прочности невелики.

## Выводы

1. Добавки, характеризующиеся сильным пластифицирующим действием, не ограничиваются только группой специально синтезируемых поликарбоксилатных соединений.
2. Опытные добавки серии Д на основе продуктов переработки отработанного подсолнечного масла оказывают сильное пластифицирующее воздействие на цементную систему и потенциально могут использоваться в качестве супер- и гиперпластификаторов.
3. Добавка Д-149-2, обеспечивающая наиболее заметный пластифицирующий эффект без снижения прочности, причем при введении в небольшом количестве, может найти применение в качестве гиперпластификатора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б В.2.7-171:2008. Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови. – Введ. 2009–09–30. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 93 с.
2. Page M., Spiratos N. The role of superplasticizers in the development of environmentally-friendly concrete // Two-Day CANMET/ACI International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development (Vancouver, BC, Canada, 2000, April 19–20).

3. Добавки в бетоны как новый этап в бетоноведении [Электронный ресурс] // Вестник строительного комплекса. – 2010. – № 68. – URL: [http://www.vestnik.info/archive/34/article\\_593.html](http://www.vestnik.info/archive/34/article_593.html) (дата обращения: 14.02.2014).
4. Дудынов С. В. Экологически безопасные пластифицирующие добавки строительного назначения для использования в бетонных смесях [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.sovtehnostroy.ru/viewart.php?arts\\_id\\_=169](http://www.sovtehnostroy.ru/viewart.php?arts_id_=169) (дата обращения: 14.02.2014).
5. Рахимбаев Ш. М. Вопросы рационального применения пластификаторов в технологии бетона // Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы пятых академических чтений РААСН. – Воронеж, 1999. – С. 369–371.
6. Пат. 2360880 Рос. Федерация, С2, МПК С 04 В 24/26, С 04 В 28/00, С 04 В 103/32. Суперпластификатор высокой начальной прочности / Клемента П., Феррари Д., Гамба М. [и др.]. – № 2006122262/03; заявл. 14.12.04; опубл. 10.07.09.
7. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 368 с.
8. Бутт Ю. М. Практикум по технологии вяжущих веществ и изделий из них. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Гос. изд-во литературы по строительным материалам, 1953. – 471 с.
9. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема. – Введ. 1978–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.
10. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. – Введ. 1983–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 22 с.
11. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Технопроект, 1998. – 768 с.

## REFERENCES

1. DSTU B V.2.7-171:2008. *Budivel'ny materialy. Dobavki dlya betoniv i budivel'nykh rozchyniv. Zagal'ni tekhnichny umovy* [Building materials. Admixtures for concrete and mortars. General specification]. Kiev: Minregionbud Ukrainy, 2010, 93 p (in Ukrainian).
2. Page M., Spiratos N. The role of superplasticizers in the development of environmentally-friendly concrete. *Two-Day CANMET/ACI International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development*. Vancouver, BC, Canada, 2000, April 19–20.
3. Concrete additives as a new stage in concrete science [Electronic resource]. *Vestnik stroitel'nogo kompleksa*, 2010, no. 68. URL: <http://www.vestnik.info/archive/34/article593.html> (accessed: 14.02.2014) (in Russian).
4. Dudynov S. V. *Ekologicheski bezopasnye plastifitsiruyushchie dobavki stroitel'nogo naznacheniya dlya ispol'zovaniya v betonnykh smesyakh* [Environmentally safe building purpose plasticizers for use in concrete mixes] [Electronic resource]. URL: [http://www.sovtehnostroy.ru/viewart.php?arts\\_id\\_=169](http://www.sovtehnostroy.ru/viewart.php?arts_id_=169) (accessed: 14.02.2014) (in Russian).
5. Rakhimbayev Sh. M. Aspects of the rational use of plasticizers in concrete technology. *Sovremennye problemy stroitel'nogo materialovedeniya: Materialy pyatykh akademicheskikh chteniy RAASN*. Voronezh, 1999, pp. 369–371 (in Russian).
6. Patent RF 2360880. *Superplastifikator vysokoy nachal'noy prochnosti* [Superplasticizer high early strength]. Klemente P., Ferrari D., Gamba M., et al. Declared 14.12.04. Published 10.07.09 (in Russian).
7. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. *Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti* [Building materials from waste industry]. Rostov-on-Don: Feniks, 2007, 368 p (in Russian).
8. Butt Yu. M. *Praktikum po tekhnologii vyazhushchikh veshchestv i izdeliy iz nikh* [Laboratory manual in technology of binding materials and products of them]. Moscow: Gos. izd-vo literatury po stroitel'nym materialam, 1953, 471 p (in Russian).
9. GOST 310.3-76. *Tsementy. Metody opredeleniya normal'noy qustoty, srokov skhvatyvaniya i ravnomernosti izmeneniya ob'ema* [Cements. Methods for determination normal density, setting time and soundness]. Moscow: Izd-vo standartov, 2003, 11 p (in Russian).
10. GOST 310.4-81. *Tsementy. Metody opredeleniya predela prochnosti pri izgibe i szhatii* [Cements. Methods for determination compressive and shear strength]. Moscow: Izd-vo standartov, 2003, 22 p (in Russian).
11. Batrakov V. G. *Modifitsirovannye betony. Teoriya i praktika* [Modified concretes. Theory and practice]. Moscow: Tekhnoproekt, 1998, 768 p (in Russian).