УДК 666.9-1 DOI: 10.31650/2415-377X-2020-78-108-117

АКТУАЛЬНОСТЬ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ ВЯЖУЩИХ СВОЙСТВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

[1]**Николаев А.П.,** к.т.н.,
apnikolaev1946@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6650-447X
[1]**Кондращенко Е.В.,** д.т.н., профессор,
zalesk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6739-3457
[1]*Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова*
ул. Маршала Бажанова, 17, г. Харьков, 61000, Украина

Аннотация. Показана неоднозначность проявления вяжущих свойств цементов одинаковой активности при изменении условий их потребления. Обосновано предположение, что гарантии стабильности вяжущих свойств портландцемента действуют только при нормативных условиях определения его качества. Аргументирована целесообразность организации внутреннего контроля, поступающего на производство портландцемента с учетом условий его потребления. Предложено использовать пластометрию для определения водопотребности и сроков схватывания портландцемента в присутствии кварцевого песка. Показано, что для этих целей наиболее подходит мономинеральный кварцевый песок фракции 80–150 мкм, предназначенный для производства оптического стекла.

Ключевые слова: портландцемент, контроль качества, дисперсность, физико-механическая активность, твердость, сроки схватывания, пластометрия, напряжение сдвига, водопотребность, кварцевый песок.

Введение. Вяжущие свойства портландцемента (ПЦ) по отношению к используемым заполнителям проявляются при его схватывании и твердении [1]. К основным параметрам, характеризующим вяжущие свойства ПЦ относят сроки его схватывания и физико-механическая активность (прочность цементных образцов на 28 сутки их твердения), определяемых согласно нормативным требованиям при одних и тех же стандартных условиях [2, 3]. Известно, что прочность ПЦ при прочих равных условиях зависит от химико-минералогического состава используемого портландцементного клинкера и минеральных добавок, наличия в них малых примесей каталитического характера, структурных дефектов, в том числе и на межфазных границах, а также вещественного состава и дисперсных свойств конечного продукта [4]. Каждый из перечисленных факторов вносит свою долю в формирование прочности ПЦ [5, 6]. Однако при производстве ПЦ значение вклада каждого из этих факторов в его прочность, в том числе и при изменении условий взаимодействия цемента с водой контролируют не в полном объеме [7]. Это приводит к тому, что гарантия стабильности вяжущих свойств ПЦ действует только при тех условиях, при которых осуществляют контроль его качества. При других условиях поведение цементов менее предсказуемо. В наибольшей степени это относится к цементам от разных производителей в связи с известными различиями в свойствах используемого ими сырья и технологической возможности эксплуатируемого оборудования. В сложившейся ситуации у производителей изделий из бетона и железобетона возникают проблемы с непредсказуемостью поведения ПЦ при его взаимодействии с водой в связи с тем, что оно происходит при условиях, значительно отличающихся от тех, при которых проводили его контроль. Это отличие связано с иными соотношениями между цементом, водой и заполнителями, с присутствием химических добавок широкого спектра действия, а также и с условиями изготовления и вызревания изделий на основе ПЦ [8, 9].

В связи с вышеизложенным авторы считают, что на предприятиях по производству бетона и железобетона кроме входного контроля, устанавливающего соответствие ПЦ

задекларированным параметрам, необходим еще и внутренний контроль, в задачи которого должна входить оценка проявления вяжущих свойств поступающего на производство цемента с учетом условий его потребления. Такой подход подразумевает выбор для проведения контроля значений В/Ц, соотношения цемента и песка, содержания химических добавок, режимов схватывания и твердения, близких к используемым при потреблении анализируемого ПЦ. Сам контроль заключается в определении физико-механической активности представительных проб ПЦ при выбранных параметрах. Полученная информация о проявлении при этих условиях вяжущей активности вновь поступившего ПЦ в совокупности с аналогичной для уже освоенных материалов, позволит упростить сам процесс перехода с одной партии ПЦ на другую с минимальными потерями времени и качества производимой продукции.

К одной из основных проблем при организации потребительского контроля ПЦ авторы относят и недостаточность существующей методологической базы для испытаний его вяжущей активности в процессе схватывания и твердения при условиях, отличающихся от стандартных. Например, прибор Вика предназначен для измерения сроков схватывания и нормальной густоты цементного теста (НГТ), не содержащего кварцевый песок и другие компоненты, в то время как информация о их влиянии на указанные параметры необходима для оптимизации удобоукладываемости бетона, оборачиваемости форм, а также продолжительности экспозиции изделий перед началом их термовлажностной обработки и т.п. [8]. Еще одна проблема связана со значительной длительностью определения физико-механической активности ПЦ [3].

Анализ последних исследований. В настоящее время для оперативного контроля качества цемента используют рентгенофазовый анализ с применением метода Ритвельда [10]. Этот метод позволяет определять путем последовательных приближений не только количественный фазовый состав анализируемого ПЦ, но и основные кристаллографические особенности его фазообразующих минералов.

Для контроля тонины помола ПЦ используют величину его удельной поверхности, измеряемую методом воздухопроницаемости, а также лазерную дифрактометрию, которая позволяет определять функцию гранулометрического распределения частиц цемента [11, 12]. Однако высокая стоимость такого оборудования и потребность в высококвалифицированных специалистах для его обслуживания, ограничивает широкое применение этих методов и вызывает необходимость использовать для этих целей более простые и доступные методы.

Авторы считают, что недостаточное внимание к вышеизложенным проблемам, приводит к повышению себестоимости выпускаемой бетонной и железобетонной продукции и снижению стабильности ее качества, особенно при переходе с одной партии ПЦ на другую, что и определяет актуальность рассматриваемой темы.

Цель исследования. Показать целесообразность организации оперативного производственного контроля вяжущей способности ПЦ в зависимости от конкретных условий его потребления.

Аппаратура, методы и материалы. Для определения водопотребности и динамики схватывания ПЦ авторы предложили использовать конусный пластометр, с помощью которого можно измерять величину предельного напряжения сдвига твердеющего цементного теста [13]. Согласно данным Сегаловой Е. Е. величина НГТ, начало и конец схватывания ПЦ отвечают времени достижения значения предельного напряжения сдвига цементного теста 10, 150 и 500 кПа, соответственно [14]. Для определения влияния песка на величину этих параметров авторы предложили вводить в цементное тесто мелкий заполнитель со стабильными свойствами. В качестве такого заполнителя выбрали мономинеральный кварцевый песок фракции 80–150 мкм, предназначенный для производства оптического стекла. Выбор определился стабильностью состояния поверхности его частиц, практически идеальной округлостью их формы и 100 % содержанием основного породообразующего минерала – α кварца. Учитывая возможность нестабильности гранулометрического распределения зернового состава песка внутри

выбранной фракции, предложено также контролировать объем межзернового пространства в качестве дополнительного фактора постоянства его свойств.

Авторы считают, что для оценки проявления физико-механической активности цементов в смесях различного состава и степени их подготовки наиболее подходит ускоренный метод определения прочности образцов с использованием лабораторной пропарочной камеры [15]. В дополнение к этому методу было предложено измерять твердость цементных образцов в начальный период их вызревания при естественных условиях. Между твердостью и пределом прочности на сжатие нет прямой связи, однако твердость, как и прочность, – физико-механический параметр и по ее изменению можно судить о начальной динамике реализации вяжущего потенциала ПЦ. Следует так же отметить, что такой подход позволяет контролировать поведение непосредственно самого материала без учета влияния размеров и формы анализируемых образцов [11]. Для повышения оперативности оценки вяжущих свойств ПЦ можно сопоставлять значение твердости цементных образцов после их вызревания при повышенной температуре (не менее 40 ^{o}C). В зависимости от решаемых задач образцы для испытаний могут представлять собой только цементное тесто, либо содержать мелкий кварцевый заполнитель или добавки. Предлагаемый метод не требует сложного оборудования и может быть востребован для предварительной оценки вяжущих свойств ПЦ.

Анализ чувствительности предлагаемых методов, а также поведения ПЦ при различных условиях их использования проводили на цементах ЦЕМ 32,5 и ЦЕМ 42,5 следующих производителей: ПАО «Ивано-Франковскцемент», «Подольский цемент», «Югцемент» и «Криворожцемент». Также использовали кварцевый песок Нововодолажского ГОКа Харьковской области, а в качестве добавок – активированный доменный шлак и пластификатор С-3.

Основная часть.

Оценка чувствительности используемых методов. Для оценки чувствительности предлагаемых методов контроля динамики схватывания и твердения ПЦ подготовили пробы при В/Ц = 0,38 с соотношением цемент : песок (Ц:П) = 1:1. Для моделирования снижения активности вяжущего материала 20 и 60 % ПЦ Ивано-Франковскцемента заменили молотым шлаком, а для - повышения активности – 20 и 60 % ПЦ доизмельчили.

На рисунках 1 и 2 приведены результаты, полученной динамики схватывания и твердения подготовленных образцов.

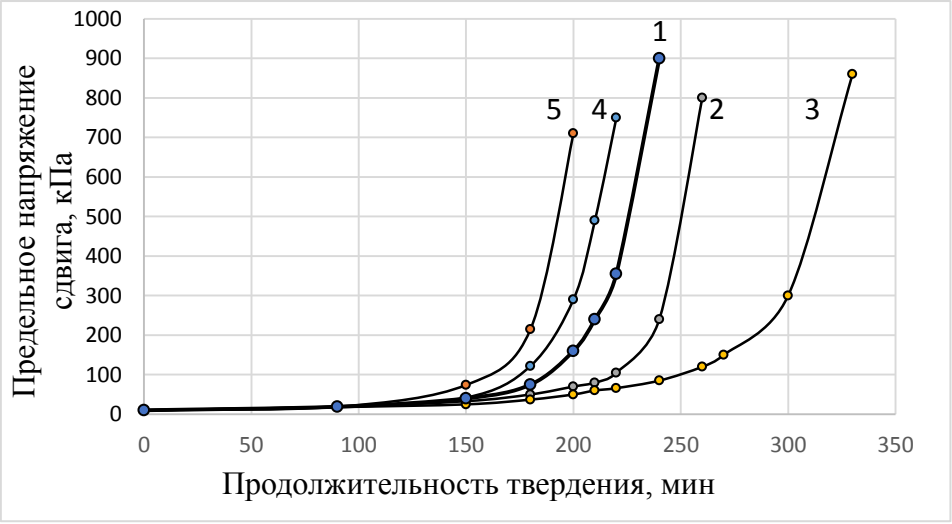

Рис. 1. Динамика схватывания ПЦ разной активности:
1 – исходный ПЦ; 2 и 3 – с добавкой 20 и 60 % шлака; 4 и 5 – с 20 и 60 % домолотого ПЦ

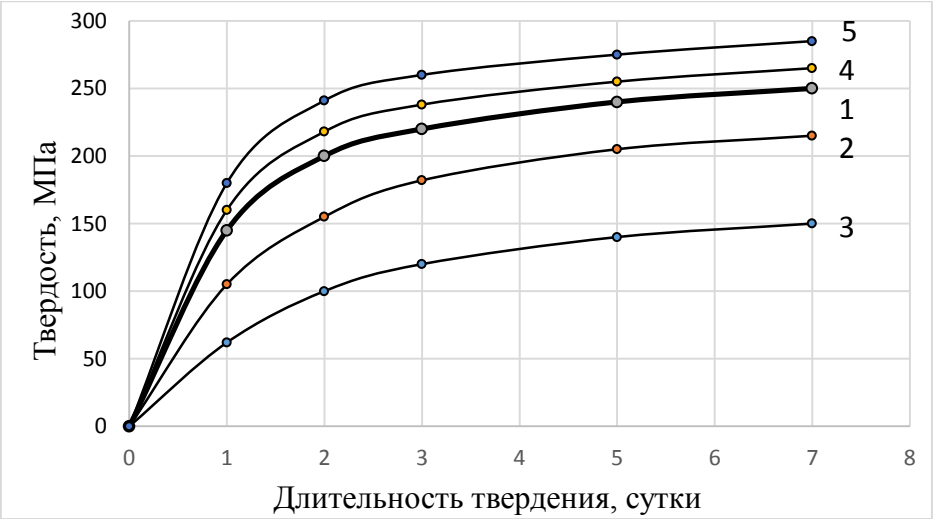

Рис. 2. Динамика твердения ПЦ:
1 – исходный ПЦ; 2 и 3 – с добавкой 20 и 60 % шлака; 4 и 5 – с 20 и 60 % домолотого ПЦ

Рисунки 1 и 2 наглядно демонстрируют достаточную чувствительность используемых методов к изменению активности вяжущего материала, что следует из характера расположения кривых.

Для оценки чувствительности ускоренного метода контроля физико-механической активности ПЦ использовали смесь ЦЕМ 42,5 и ЦЕМ 32,5, постепенно заменяя более активный цемент на менее активный, при Ц:П = 1:1 и В/Ц = 0,45. Твердение осуществляли в герметичных формах при температуре 40 ^{o}C. Время твердения образцов составило 12 часов после их формования. Полученный результат приведен на рисунке 3.

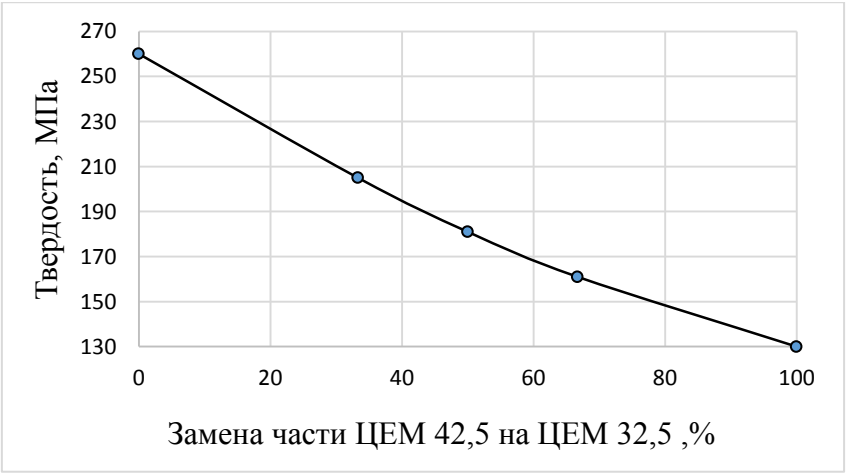

Рис. 3. Изменение твердости цементно-песчаного теста при замене ЦЕМ 42,5 на ЦЕМ 32,5

Результаты приведенные на рисунке 3 подтвердили высокую чувствительность предлагаемого метода оперативной оценки вяжущей активности ПЦ.

Проявление активности ПЦ при различных условиях их использования. Для анализа вяжущих свойств разных цементов при изменение соотношения Ц:П подготовили пробы цементного теста на основе цементов одного класса (ЦЕМ 32,5) от разных производителей: Югцемента, Ивано-Франковскцемента и Криворожцемента. Значение Ц:П для всех цементов составляло 1:1 и 1:1,4 при ВЦ = 0,45. Полученные результаты приведены на рисунках 4 и 5.

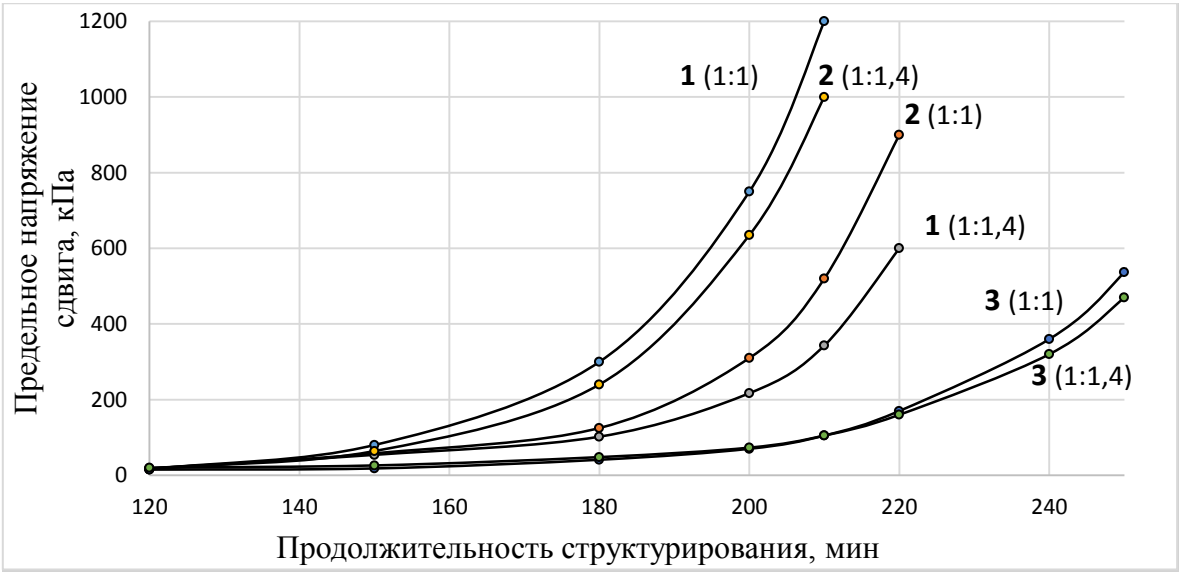

Рис. 4. Динамика схватывания цементно-песчаного теста:
1 – ПЦ Ивано-Франковскцемента; 2 – Югцемента; 3 – Криворожцемента

Эксперимент показал различную динамику схватывания ПЦ при изменении соотношения Ц:П (указано в скобках на рисунке 4.) Так на рисунке 4 видно, что для пробы на основе Ивано-Франковского цемента повышение содержания песка приводит к замедлению схватывания (кривые 1), а для Югцемента – наоборот к ускорению этого процесса (кривые 2), пробы Криворожцемента показали практическое отсутствие реакции на изменение величины Ц:П (кривые 3).

На рисунке 5 приведены результаты динамики твердения этих же ПЦ при изменении соотношения Ц:П (указано в скобках).

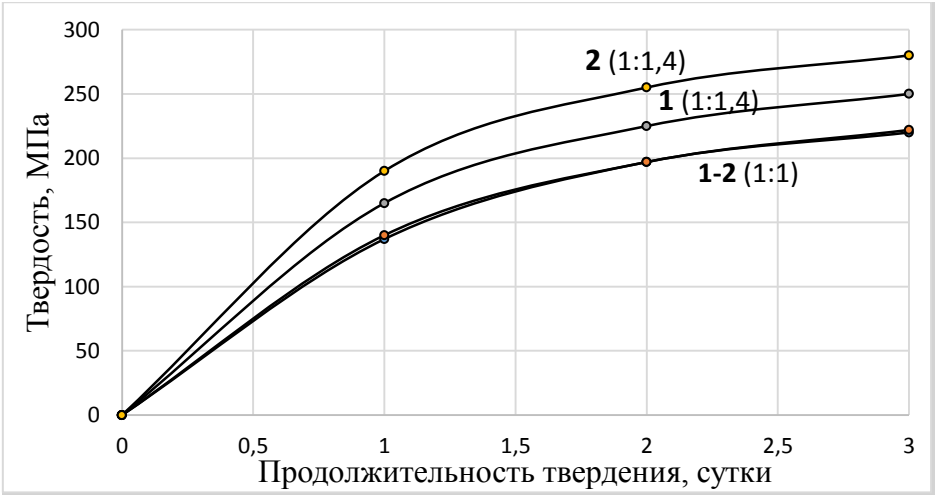

Рис. 5. Связь динамики твердения ПЦ с изменением соотношения Ц:П:
1 – Ивано-Франковскцемент; 2 – Югцемент

Анализ полученных результатов (рисунок 5) показал, что при Ц:П = 1:1 динамика твердения ПЦ одинакова (кривые 1-2 совпали). При повышении содержания песка в цементном тесте оба цемента дали прирост твердости, причем продукция Югцемента (кривые 2 (1:1,4)) показала более высокие результаты по сравнению продукцией Ивано-Франковскцемента (кривые 1 (1:1,4)).

Динамику изменения твердости для цементного теста в присутствии песка определяли на ЦЕМ 32,5 от Криворожцемента. Результаты приведены на рисунке 6.

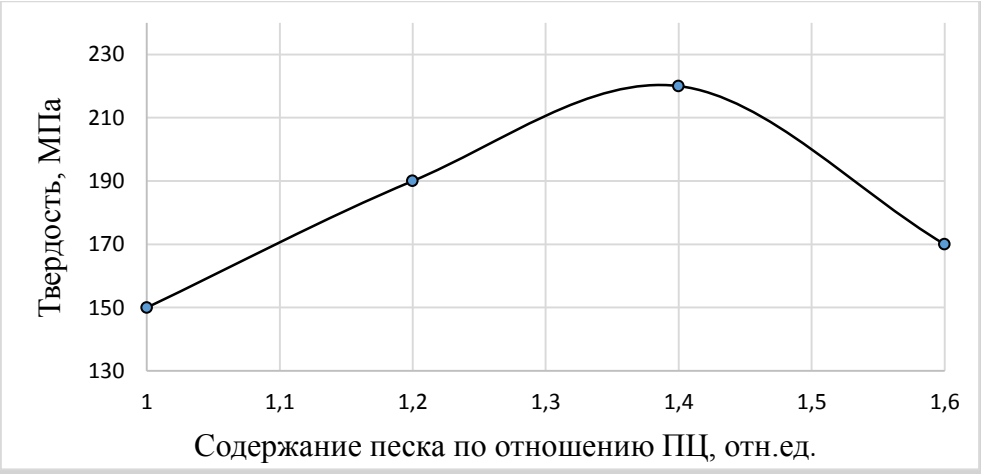

Рис. 6. Зависимость твердости цементных образцов на 3 сутки их вызревания от количества песка в их составе

Авторы предполагают, что начальная положительная динамика твердения до значения П:Ц = 1:1,4 (рисунок 6) связана с понижением фактического В/Ц из-за расхода части воды на смачивание поверхности частиц используемого песка при увеличении его содержания в цементном тесте. Спад твердости после соотношения 1:1,4 на приведенной кривой, возможно, связан с достижением такого количества песка, когда остатка воды после смачивания его поверхности, перестало хватать на взаимодействие с цементом.

Анализ совместимости цементов от разных производителей с добавкой пластификатора С-3 проводили на ЦЕМ 42,5 от таких производителей, как Ивано-Франковскцемент, Югцемент и Подольскцемент.

В работе сопоставляли динамику схватывания и твердения равноподвижных цементных образцов без песка и добавок при нормальной густоте цементного теста (НГТ) и с содержанием С-3 = 0,6 %.

На рисунке 7 приведены пластограммы ПЦ без добавок, а на рисунке 8 – с добавкой 0,6 % С-3.

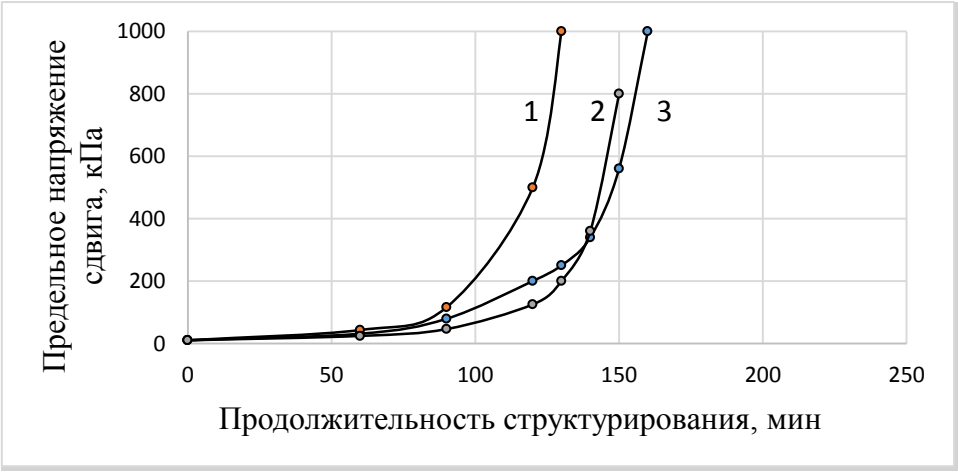

Рис. 7. Динамика схватывания ПЦ при НГТ:
1 – Ивано-Франковскцемент НГТ = 28,0 %; 2 – Югцемент НГТ= 25,5;
3 – Подольскцемент НГТ = 27,0

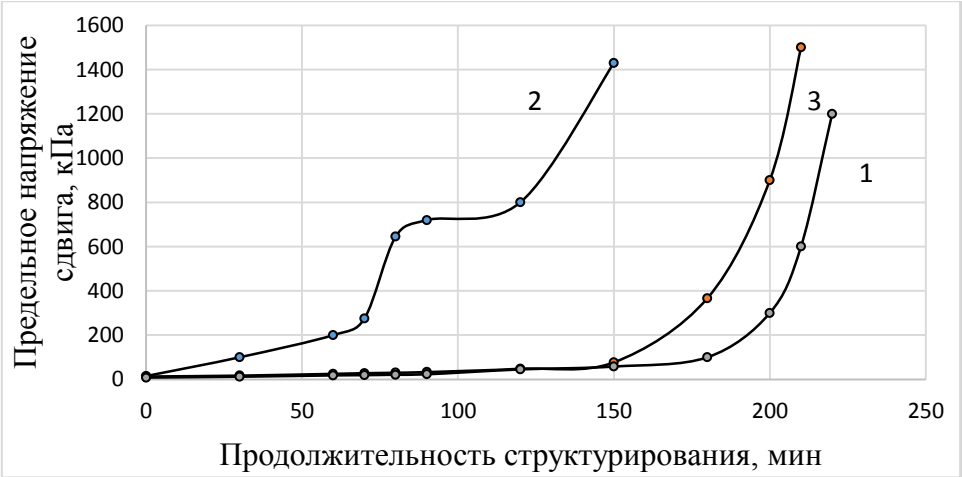

Рис. 8. Динамика схватывания образцов с добавкой 0,6 % С-3:
1 – Ивано-Франковскцемент В/Ц = 0,255; 2 – Югцемент В/Ц = 0,230;
3 – Подольскцемент В/Ц = 0,260

Приведенные на рисунках результаты показывают различия в изменении консистенции цементного теста на основе продукции анализируемых производителей при введении С-3. Так, цементное тесто на основе Ивано-Франковского цемента требует меньшего количества пластификатора (кривые 1 на рис. 7 и 8) по отношению его аналога на основе Подольского цемента (кривые 3 на тех же рисунках). Особенности схватывания цементного теста на основе ПЦ Югцемента (кривая 2 на рисунке 8) связаны с тем, что на этом заводе клинкер производят по мокрому способу. В более ранней работе авторов [16] было показано, что такой ПЦ менее защищен от проявления быстрого схватывания (в том числе и от присутствия С-3), чем его аналог на основе клинкера сухого способа производства.

Выводы. Полученные результаты наглядно показали неоднозначность в проявлении вяжущих свойств одинаковых ПЦ при изменении условий их потребления и подтвердили целесообразность организации внутреннего контроля этого вяжущего материала при производстве бетона и железобетона.

Наличие такого контроля позволит получать информацию о тех свойствах поступающего на производство портландцемента, которые в первую очередь необходимы для его рационального использования в составе выпускаемой продукции.

В статье затронуты только общие положения организации внутреннего контроля ПЦ. Выбор условий самого контроля и необходимых для этого методик должен определять его непосредственный потребитель.

Литература

1. Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества. М. : Стройиздат, 1979. 476 с.

2. ДСТУ Б EN 196-3:2015. Методи випробування цементу. Визначення строків тужавлення та рівномірності зміни об’єму, 2016. 23 с.

3. ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск. Чинний від 01.10.2010. Київ : Мін-регіонбуд України, 2010. 11 с.

4. Kurdowski W. Chemistry of cement and concrete / Scientific Publishing PWN. Warsawa, 2010. 728 p.

5. Теория цемента / А. А. Пащенко, Е. А. Мясникова, В. С. Гумен и др.; ред. А. А. Пащенко. Київ : Будівельник, 1991. 168 с.

6. Николаев А. П., Кондращенко Е. В. Вяжущие свойства портландцемента. Контроль и анализ: монография. Х.: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2017. 82 с.

7. Классен В. К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 308 с.

8. Баженов Ю. М., Пащенко А. А. Технология бетона. М.: Изд-во ЛСВ, 2011. 528 с.

9. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Технопроект, 1998. 560 с.

10. The Rietveld Method. Ed. R. A. Young / N. Y. Oxford. University press, 1993. 298 p.

11. Болотских О. Н. Европейские методы физико-механических испытаний цемента. 2 издание. Х.: ЮНИСОФТ, 2015. 87 с.

12. Campbell J. R. Limitations in the lazer particle sizing of soils. *Advances in Regolith (NCW 2109)*. Macgnaric, 2003. pp. 38-42.

13. Nikolaev A. P., Kondrashchenko O. V., Kondrashchenko V. I. Control of cement grout plastic properties. *International Scientific Conference on Far East Con, ISCFEC*, 2018. Vol. 945. pp. 70–75.

14. Сегалова Е. Е., Ребиндер П. А. Возникновение кристаллизационных структур твердения и условия развития их прочности. *В кн.: Новое в химии и технологии цемента*. М.: Госсстройиздат, 1962. С. 202-213.

15. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. – Введен 1983-07-01. М.: Минпром. стройматериалов СССР, 1983. 33 с.

16. Николаев А. П., Кондращенко Е. В., Кондращенко В. И. Особенности схватывания цемента на основе клинкера сухого способа производства. *Будівельні матеріали та вироби*. Київ. 2018. № 5-6. С. 44-47.

References

[1] A.V. Volzhensky, Yu.S. Burov, V.S. Kolokolnikov, *Mineral binders*. M.: Stroyizdat, 1979.

[2] DSTU B EN 196-3: 2015. Cement Test Methods. Determination of the setting time and uniformity of volume change, 2016.

[3] DSTU B V 2.7-187: 2009. Construction Materials. Cement. Methods for determining bending and compression strength. Effective since 01.10.2010. Kyiv: Min-regionbud of Ukraine, 2010.

[4] W. Kurdowski, *Chemistry of cement and concrete*. Scientific Publishing PWN. Warsawa, 2010.

[5] A.A. Pashchenko, E.A. Myasnikova, V.S. Gumen and others, *Theory of cement*. Kiev: Budivelnik, 1991.

[6] A. P. Nikolaev, E. V. Kondrashchenko, *Astringent properties of Portland cement. Control and analysis: monograph*. Kh.: O. M. Beketov National University of Urban Economy, 2017.

[7] V.K. Klassen, *Technology and optimization of cement production: a short course of lectures.* Belgorod: Publishing House of BSTU, 2012.

[8] Yu. M. Bazhenov, *Concrete technolog.* M.: Publishing house LSV, 2011.

[9] V. G. Batrakov, *Modified Concretes: Theory and Practice*. Moscow: Tekhnoproekt, 1998.

[10] Ed. R. A. Young, *The Rietveld Method*. N. Y. Oxford. University press, 1993.

[11] O.N. Bolotskikh, *European methods of physico-mechanical testing of cement*. 2 edition. Kh.: UNISOFT, 2015.

[12] J.R. Campbell, "Limitations in the lazer particle sizing of soils", *Advances in Regolith (NCW 2109).* Macgnaric, pp. 38–42, 2003.

[13] A.P. Nikolaev, O.V. Kondrashchenko, V.I. Kondrashchenko, "Control of cement grout plastic properties", *International Scientific Conference on Far East Con, ISCFEC,* vol. 945, pp. 70-75, 2018.

[14] E.E. Segalova, P.A. Rebinder, The emergence of crystallization structures of hardening and conditions for the development of their strength, *In the book New in chemistry and*

cement technology. M.: Gossstroyizdat, pp. 202–213, 1962.
[15] GOST 310.4-81. Cement. Methods for determining the tensile strength in bending and compression. Introduced 1983-07-01. M.: Ministry of Industry.building materials of the USSR, 1983.
[16] A.P. Nikolaev, E.V. Kondrashchenko, V.I. Kondrashchenko, "Peculiarities of cement setting on the basis of clinker of the dry production method", *Budivelni materiali virobi*, Kiev, vol. 5–6, pp. 44–47, 2018.

АКТУАЛЬНІСТЬ ВНУТРІШНЬОГО КОНТРОЛЮ В'ЯЖУЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ

[1]**Ніколаєв О.П.,** к.т.н.,
apnikolaev1946@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6650-447X
[1]**Кондращенко О.В.,** д.т.н., професор,
zalesk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6739-3457
[1]*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*
вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61000, Україна

Анотація. У статті наведено обґрунтування необхідності введення додаткового внутрішнього контролю в'яжучої активності портландцементу за умов, близьких до його використання. Показано, що така необхідність пов'язана з тим, що при виробництві цементу не всі фактори, які визначають його фізико-механічну активність, контролюють в повній мірі. У той же час діючі методи випробування цієї активності визначають сумарний внесок в її значення згаданих чинників при нормативних умовах проведення випробувань. За інших умов вплив цих факторів проявляється неоднозначно. Це призводить до того, що гарантія стабільності в'яжучих властивостей ПЦ діє тільки при нормативних умовах визначення його якості. Найбільшою мірою це відноситься до цементів від різних виробників у зв'язку з відомими відмінностями у властивостях сировини, яку вони використовують і технологічними можливостями устаткування, що експлуатується. У ситуації, що склалася, у виробників виробів з бетону та залізобетону виникає проблема з непередбачуваністю поведінки ПЦ при його взаємодії з водою, бо воно відбувається за умов, що значно відрізняються від тих, при яких здійснювали його контроль виробники цементу.

Авторами цієї статті запропоновано оцінювати в'яжучі властивості цементу за умов, близьких до тих, які мають місце при виробництві бетону та залізобетону, що дозволить підвищити якість продукції.

Для визначення водопотреби ПЦ і динаміки його тужавлення в присутності піску і інших добавок автори запропонували використовувати пластометрію, а для оцінки прояву фізико-механічної активності цементів в сумішах різного складу і ступеня їх підготовки – прискорений метод визначення міцності цементних зразків з використанням лабораторної пропарювальної камери.

Наявність внутрішнього контролю дозволить отримувати інформацію про ті властивості портландцементу, що надходить на виробництво, які в першу чергу необхідні для його раціонального використання в складі продукції, що випускається.

Ключові слова: портландцемент**,** контроль якості, дисперсність, фізико-механічна активність, твердість, терміни тужавлення, пластометрія, напруження зсуву, водопотребність, кварцовий пісок.

THE RELEVANCE OF INTERNAL CONTROL OF THE BINDING PROPERTIES OF PORTLAND CEMENT

[1]**Nikolaev A.P.,** Ph.D.,
apnikolaev1946@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6650-447X
[1]**Kondrachenko E.V.,** Sc.D., Professor,
zalesk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6739-3457
[1]*O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv*
st. Marshala Bazhanova, 17, Kharkiv, 61000, Ukraine

Abstract. The article provides justifications for the need for additional internal control of the binding activity of Portland cement under conditions close to its consumption. It is shown that this need is associated with the fact that in the production of cement not all factors that determine its physical and mechanical activity are fully controlled. At the same time, the current test methods for this activity determine the total contribution of the mentioned factors under the standard test conditions.

Under other conditions, the influence of these factors is manifested ambiguously, which leads to the fact that the guarantee of stability of the astringent properties of the Portland cement is valid only under conditions of monitoring its quality. To the greatest extent, this applies to cements from different manufacturers in connection with the known differences in the properties of the raw materials used by them and the technological capabilities of the equipment used.

In this situation, manufacturers of concrete and reinforced concrete products have a problem with the unpredictability of the behavior of Portland cement when it interacts with water, since it occurs under conditions significantly different from those under which cement manufacturers performed its control.

The authors of this article proposed to evaluate the properties of cement under conditions close to those used in the production of concrete and reinforced concrete, which will improve the quality of products.

To determine the water demand and the dynamics of setting Portland cement, the authors proposed the use of plastometry, and to assess the manifestation of the physico-mechanical activity of cements in mixtures of various compositions and the degree of their preparation, an accelerated method for determining the strength of cement samples using a laboratory steaming chamber.

The presence of internal control will make it possible to obtain information on the properties of Portland cement, which is supplied to production and which are primarily necessary for its rational use in the composition of products.

Keywords: portland cement, quality control, dispersion, physical and mechanical activity, hardness, setting time, plastometry, shear stress, water demand, quartz sand.

Стаття надійшла до редакції 9.12.2019