

## БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, КОНСТРУКЦІЇ ТА СПОРУДИ

---

УДК 666.941

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.143.2014.79000>

### ДОЛОМИТОВЫЙ ЦЕМЕНТ, ЗАТВОРЯЕМЫЙ ВОДОЙ

Доктора техн. наук А.А. Плугин, В.И. Винниченко,  
кандидаты техн. наук О.С. Борзяк, А.Н. Рязанов

### ДОЛОМІТОВИЙ ЦЕМЕНТ, ЩО ЗАМІШУЄТЬСЯ ВОДОЮ

Доктора техн. наук А.А. Плугін, В.І. Вінниченко,  
кандидати техн. наук О.С. Борзяк, О.М. Рязанов

### DOLOMITE CEMENT THAT IS MIXED WITH WATER

Doctors of techn. sciences A.A. Plugin, V.I. Vinnichenko,  
candidates of techn. sciences O.S. Borziak, A.N. Ryazanov

*Предложено использование отсева доломита и отходов обогащения угля для получения доломитового цемента. Выполнены физико-химические исследования и физико-механические испытания образцов цемента. Показано, что в отличие от существующих доломитовых вяжущих, предложенный цемент обладает способностью набирать прочность при затворении водой.*

**Ключевые слова:** доломитовый цемент, отходы углеобогащения, продукты гидратации, прочность, рентгенограммы, ИК-спектры.

*Запропоновано використання відсіву доломіту та відходів збагачення вугілля для одержання доломитового цементу. Виконано фізико-хімічні дослідження та фізико-механічні випробування зразків цементу. Показано, що на відміну від існуючих доломитових в'язучих, цемент, що пропонується, має здатність набирати міцність при замішуванні водою.*

**Ключові слова:** доломітовий цемент, відходи вуглезбагачення, продукти гідратації, міцність, рентгенограми, ІЧ-спектри.

*Proposed use dropout dolomite and coal tailings for dolomite cement. The studies obtained by hardening when mixed with water dolomite cement. Submitted physico-chemical studies and physico-mechanical tests on samples of cement. In the hydrated cement hydration products installed: hydroxides of calcium and magnesium, calcium, highly basic calcium hydrosilicates and unhydrated cement raw minerals - magnesium oxide, quartz. Hardening and strength of the resulting cement explained by the formation of dolomite in the structure of cement stone a certain amount of electrical heterogeneous contacts between crystals of calcium hydroxide and calcite having a positive surface charge of the particles and hydrated silicates of calcium and silica have a negative surface charge. Designed dolomite cement can be recommended as a local energy-saving low-strength binder, the scope of which should be verified by the study of its resistance to water and frost.*

**Keywords:** dolomite cement, waste coal, strength, roentgenograms, IR-spectra, hydration products.

**Введение.** Магнезиальные вяжущие вещества, получаемые из магнезита и доломита, имеют ряд преимуществ. Это быстрое схватывание и набор прочности, высокие прочность и защитные свойства от

электромагнитных полей и высокочастотных излучений.

В Украине имеются значительные запасы доломитового сырья, включая техногенный отход – отсев доломита в отвалах горно-

обогащительных комбинатов, предприятий огнеупорного и металлургического производств. Количество отходов исчисляется миллионами тонн и продолжает увеличиваться, приводя к ухудшению экологической обстановки [1].

Технология производства вяжущих из отходов доломита по сравнению с портландцементом имеет преимущества: применение однокомпонентного дисперсного сырья, не требующего введения корректирующих добавок, их дозирования и смешивания, а также энергоемкого дробления с помощью дорогостоящего оборудования; меньшая температура обжига, обуславливающая меньший расход топлива на обжиг и использование менее дорогостоящих огнеупоров для футеровки печей; меньший выброс в атмосферу парниковых газов; высвобождение земельных площадей от отвалов. Себестоимость производства доломитового цемента не менее чем в два раза ниже, чем портландцемента.

Основными недостатками магнезиальных вяжущих являются невысокая водостойкость и необходимость затворения не водой, а растворами дорогостоящих солей, поскольку при взаимодействии каустического магнезита  $MgO$  с водой его вяжущие свойства не проявляются и твердение практически не происходит. Поэтому разработка способов повышения водостойкости магнезиальных вяжущих и обеспечения их твердения при затворении водой представляет собой актуальную научную проблему.

**Анализ литературных данных.** До настоящего времени дискуссия о механизме твердения цемента (топохимическом или сквозьрастворном), начатая в конце XIX и обострившаяся в начале XX ст., не завершена [2]. В соответствии с теорией Ле Шателье (кристаллизационной, 1887) гидратация цемента происходит через раствор. Вследствие более высокой растворимости клинкерных минералов по сравнению с образующимися кристаллогидратами последние, образуя пересыщенные растворы, выделяются из цементно-водной суспензии и образуют кристаллический сросток. Основное положение теории Ле Шателье о том, что гидратация цемента происходит через раствор, является исходным в современных представлениях на процессы твердения минеральных вяжущих. По

теории В. Михаэлиса (коллоидной, 1893) вода непосредственно взаимодействует с поверхностью клинкерных минералов и их гидратация происходит без растворения (топохимический механизм). Михаэлис не отрицал возникновения в процессе твердения цемента кристаллических новообразований, но не придавал им решающего значения. Эти теории попытался объединить А.А. Байков (объединенная коллоидно-химическая теория, 1923) [3]. Он выделил три периода: период растворения (до начала схватывания); коллоидацию (стадия гидратации) и период кристаллизации с образованием кристаллического сростка. Главное положение теории Байкова, актуальное для развития современных теоретических представлений, состоит в возможности значительной части вяжущего гидратироваться по топохимической схеме. П.А. Ребиндер разделил процесс твердения на три стадии: растворение в воде неустойчивых клинкерных фаз и выделение кристаллов; образование коагуляционной структуры; рост и срастание кристаллов [4].

В настоящее время А.Н. Плугиным и А.А. Плугиным с коллективом авторов развиты представления об электроповерхностных свойствах цементно-водных систем, о роли активных центров и двойного электрического слоя во взаимодействиях структурообразующих элементов [2]. Значительным вкладом в развитие науки является разработанная электрогетерогенная теория твердения цемента, согласно которой твердение вяжущих протекает в три этапа: поверхностная гидратация с переходом вяжущего из неравновесного состояния в равновесное через раствор; гидратация с образованием и ростом новых устойчивых фаз кристаллогидратов и геля; возникновение электрогетерогенно-кристаллизационной структуры цементного камня [5]. Впервые представлены физико-химические модели всех стадий твердения цемента.

В [6] неспособность магнезиального вяжущего твердеть при затворении водой объясняется тем, что образующаяся пленка  $Mg(OH)_2$  препятствует осмосу воды вглубь зерен  $MgO$ . Процесс резко ускоряется, если в воде растворена соль-электролит [7]. Для того, чтобы каустический магнезит образовал искусственный камень, его необходимо затворить раствором  $FeSO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $H_2SO_4$ ,

$NaHSO_4$ ,  $FeCl_2$ ,  $ZnCl_2$  или  $MgCl_2 \times 6H_2O$ , последний из которых обычно применяют на практике [7–9]. Еще М. Сорель [7], а затем и другие исследователи [8, 9] установили, что при твердении магнезильного вяжущего, затворенного водным раствором хлорида магния разной концентрации, формируется искусственный камень с разными свойствами, зависящими от образующих его гидратов – гидроксида магния, пентаоксигидрохлорида и триоксигидрохлорида магния. Хлорид магния реагирует с  $MgO$ , образуя оксигидрохлориды типа  $nMgO \times MgCl_2 \times mH_2O$ . По разным данным  $n$  колеблется от 3 до 7, а  $m$  – от 6 до 17 [8, 10–12]. При затворении  $MgO$  высококонцентрированными растворами  $MgCl_2$ , как правило, структура магнезильного камня формируется в основном 5- и 3-оксигидрохлоридами, т. к. образование и существование  $Mg(OH)_2$  в этих условиях становится энергетически невыгодным. Состав конечных продуктов в магнезильном цементе определяется соотношением исходных компонентов, т. к. при недостаточном содержании раствора в условиях высокой плотности структуры и при значительном изменении концентрации  $MgCl_2$  в результате кристаллизации новообразований фазовые переходы метастабильных соединений в стабильные могут быть приостановлены на одной из стадий. В этом случае конечными продуктами могут быть только  $3MgO \times MgCl_2 \times 11H_2O$  или  $5MgO \times MgCl_2 \times 13H_2O$ , а также их смеси или смеси с  $Mg(OH)_2$  или  $MgCl_2$ .

Большинство современных работ, посвященных магнезильному вяжущему из доломита и материалам на его основе, направлено на решение проблем, связанных с улучшением качества вяжущего и материалов

из него, затворенных растворами солей [9, 13–19]. Однако накопившиеся данные позволили выдвинуть гипотезу и сформулировать задачи исследований, направленные на получение водостойкого вяжущего, твердеющего при затворении водой.

**Гипотеза исследований.** При затворении доломитового вяжущего водой увеличение растворимости образующейся на поверхности  $MgO$  пленки  $Mg(OH)_2$  и вовлечение  $MgO$  в процесс гидратации может быть достигнуто за счет введения в вяжущее силикатной (алюмосиликатной) составляющей, выполняющей роль солевого затворителя и обеспечивающей образование гидросиликатов кальция и магния. Для достижения высокой прочности и водостойкости гидросиликаты кальция и магния должны образовывать электрогетерогенные контакты с характерными продуктами гидратации магнезильного вяжущего. Аллюмосиликатная составляющая может быть введена путем совместного обжига отсева доломита и отходов углеобогащения.

**Задачи исследований.** Выбор исходных материалов и подбор оптимального соотношения отсева доломита и отходов углеобогащения, режима их обжига; подбор режима твердения и определение физико-механических характеристик доломитового цемента; определение продуктов гидратации доломитового цемента физико-химическими методами.

**Материалы и методы исследований.** В качестве сырьевых материалов выбрали отсев доломита (ОД) Докучаевского флюсо-доломитного комбината и отходы обогащения углей (ОУ) обогатительной фабрики Белореченская Донецкого бассейна (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Материал	Содержание оксидов, % по массе								
	$CaO$	$MgO$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	$SO_3$	$K_2O$	$Na_2O$	ППП
ОД	28,89	19,02	6,37	0,85	1,21	–	–	–	42,81
ОУ	3,8	1,3	55,3	10,9	20,6	2,8	2,6	1,0	–
обожженная смесь ОД:ОУ= 1:1	18,81	13,39	34,82	5,61	14,36	8,61	1,2	–	–

Для выбора оптимального соотношения материалов готовили смеси состава ОД:ОУ – 1:1; 1:2; 1:3. Режим обжига выбрали в результате поисковых экспериментов. Обжиг осуществляли в муфельной печи при температуре 1000 °С с изотермической выдержкой 1 ч. После обжига материал остывал в печи до температуры 150–180 °С в течение 6–8 ч. Затем материал подвергали помолу в шаровой мельнице до удельной поверхности 3200–3300 см<sup>2</sup>/г.

Физико-механические характеристики доломитового цемента определяли на образцах-балочках размером 160×40×40 мм и образцах-кубах с размером ребра 31,6 мм, изготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1:3 на вольском песке. Водоцементное отношение принимали из условия обеспечения консистенции раствора, соответствующей распылу конуса на встряхивающем столике 109–110 мм.

В результате поисковых экспериментов выбрали режим тепловлажностной обработки (пропарки) – (2–3)+2+8+2 ч с предварительной выдержкой на воздухе и температурой изотермической выдержки 95 °С.

Физико-химические исследования выполнили в составе рентгенофазового анализа и анализа инфракрасных спектров поглощения цементного камня без заполнителя. Подготовку образцов проводили следующим образом: образец высушивали до постоянной массы при температуре 70±3 °С, растирали в агатовой ступке до полного прохождения через сито с размером ячейки 0,08 мм. Рентгенограммы получали с помощью компьютеризованного рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 и программного комплекса DifWin.

Использовалось излучение FeK<sub>α</sub> с применением графитового монохроматора, обеспечивающего низкий фон кривой при малых значениях углов отражения. Интервал углов 2θ составлял 7–90°, напряжение – 30 кВ, сила тока – 20 мА. Образец и счетчик рентгеновских импульсов вращались автоматически в горизонтальной плоскости вокруг общей вертикальной оси гониометра с соотношением скоростей  $V_{сч} = 2V_{обр}$ . При этом счетчик измерял интенсивность дифракционной картины последовательно под разными углами отражения. Инфракрасные спектры получали с помощью ИК-Фурье-спектрометра Bruker Alpha и программного обеспечения Opus в инфракрасной области длин волн 375–4000 см<sup>-1</sup>. Образцы готовили из смеси порошка исследуемого материала с KBr прессованием под давлением 8÷8,5 МПа.

**Результаты исследований.** Результаты исследований физических и физико-механических свойств доломитового цемента различного состава приведены в табл. 2 и на рис. 1. В результате исследований установлено, что максимальную прочность цемента обеспечивает его состав ОД:ОУ = 1:3 – 4 МПа через 28 суток нормально-влажностного твердения и 21 МПа после тепловлажностной обработки. При этом из рис. 2 видно, что оптимальное по прочности содержание отхода углеобогащения осталось в неисследованной области 75–100 % (максимальная прочность при 100 % ОУ маловероятна). Установлено также, что тепловлажностная обработка обеспечивает повышение прочности образцов по сравнению с нормальным твердением в течение 28 суток в 2–6 раз.

Таблица 2

Физические и физико-механические свойства доломитового цемента

Состав			Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Нормаль- ная густота теста, %	Сроки схва- тывания, ч:мин		Расхождение колец Ле Шателье после ТВО, мм	В/Ц	Прочность, МПа	
ОД:ОУ	% по массе				начало	конец			$R_{изг}$	$R_{сж}$
	ОД	ОУ								
1:1	50	50	2520	38	0:38	3:40	3,5	0,40	6,82	14,0
1:2	33,3	66,7	2480	33	0:40	3:35	2,7	0,45	6,91	16,0
1:3	25	75	2390	30	0:46	3:47	2,0	0,40	9,13	21,0

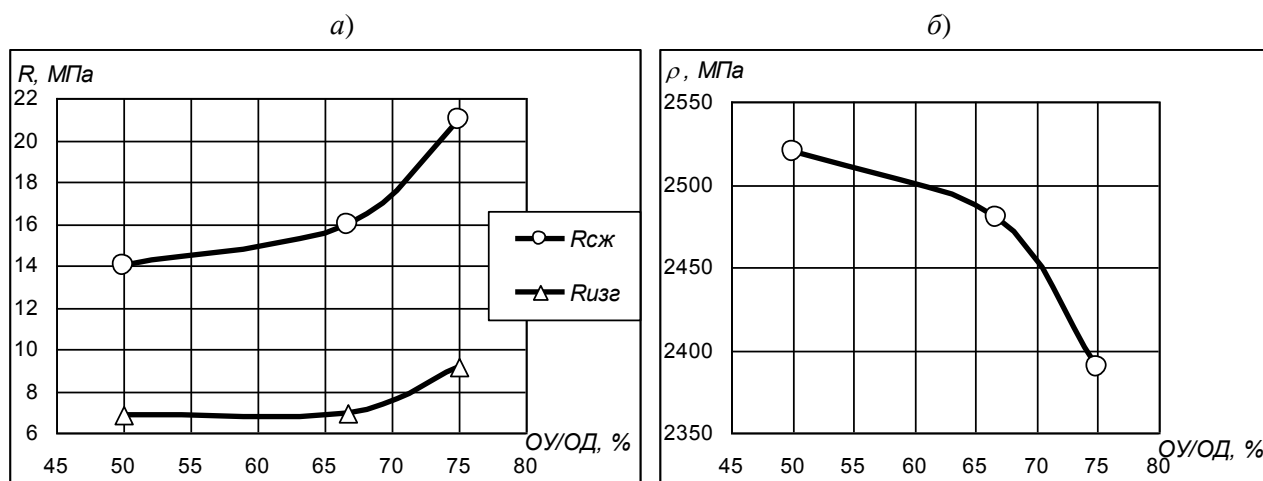


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии  $R_{сж}$  и изгибе  $R_{изг}$  (а) и истинной плотности  $\rho$  (б) образцов цементно-песчаного раствора 1:3 из доломитового цемента от содержания в цементе отхода углеобогащения ОУ/ОД

Результаты физико-химических исследований представлены в табл. 3-4 и на рис. 2-4. Для облегчения идентификации соединений в обожженном цементе выполнили рентгенофазовый анализ отдельно взятых обожженных при температуре 1000 °С доломита, известняка и отхода углеобогащения

(табл. 3). Рентгенограммы прокаленных доломита и известняка практически идентичны рентгенограммам  $CaO$  за исключением отмеченных для доломита дифракционных максимумов 2,431; 2,106 и 1,487 Å, характерных для  $MgO$ .

Таблица 3

Дифракционные максимумы обожженных при 1000 °С отсева доломита ОД, известняка И и отходов углеобогащения ОУ, Å

ОД	4,94	3,49	2,776	–	2,620	2,431	2,404	2,188	2,106	1,699	1,487	1,449	1,378
И	4,94	3,49	2,773	2,740	2,615	–	2,402	2,189	–	1,699	–	1,449	1,378
ОУ	8,64; 5,39; 4,25; 4,095; 4,054	3,675; 3,42; 3,388; 3,34	2,915; 2,889; 2,693; 2,547; 2,511					2,20	1,839; 1,691; 1,526			–	–

Рентгенограмма обожженного отхода углеобогащения свидетельствует о том, что он является полиминеральной смесью, схожа с рентгенограммами обожженных глин и содержит дифракционные максимумы, характерные для кварца (4,25; 3,68; 3,34 Å и др.), муллита (5,39; 3,42; 3,388; 2,889; 2,693; 2,547; 2,20 Å), гематита (2,693; 2,511; 2,20; 1,839; 1,691 Å).

Рентгенограммы доломитового цемента с разным соотношением ОД:ОУ представлены на рис. 3. Рентгенограммы схожи, интенсивность

максимумов изменяется в зависимости от количественного соотношения компонентов. В табл. 4 приведены интенсивности наиболее характерных дифракционных максимумов. Во всех рентгенограммах присутствуют дифракционные максимумы свободных  $CaO$  и  $MgO$ ,  $SiO_2$ , муллита. Дифракционный максимум 2,78 Å, кроме  $CaO$ , может свидетельствовать о наличии некоторого количества белита, что подтверждается наличием на рентгенограммах очень слабых дифракционных максимумов 2,18; 2,61 и 2,74 Å.

Таблица 4

Интенсивности наиболее характерных дифракционных максимумов  
доломитовых цементов, известково-алюмосиликатных вяжущих  
и их компонентов

Соотношение компонентов, температура обжига, °C	Интенсивность, имп./с, дифракционных максимумов с межплоскостными расстояниями, Å, минералов											
	CaO				MgO		SiO <sub>2</sub>			муллит		
	2,776	2,402	1,691	1,449	2,106	1,487	4,25	3,68	3,34	3,42	3,388	2,693
ОД:ОУ=1:1; 900	45	161	69	40	223	130	84	23	402	—	—	31
ОД:ОУ=1:1; 1000	86	200	83	28	279	141	43	34	238	—	80	36
ОД:ОУ=1:2; 900	78	177	85	28	180	101	89	17	431	—	—	39
ОД:ОУ=1:2; 1000	42	122	63	40	248	124	27	—	155	59	82	49
ОД:ОУ=1:3; 1000	35	88	53	23	166	98	44	29	180	61	91	69
ОД=100 %; 1000	265	669	347	107	699	366	—	—	—	—	—	—
И:ОУ=1:1; 1000	89	264	146	39	—	21	—	—	118	40	49	30
И:ОУ=1:2; 1000	24	103	56	19	—	13	—	17	227	—	—	40
И:ОУ=1:3; 1000	42	96	55	40	—	—	61	—	241	54	82	45
И=100 %; 1000	307	777	379	113	21	12	—	—	—	18	19	21
ОУ=100 %; 1000	—	—	48	32	—	27	71	56	255	102	109	136

Рентгенограммы гидратированного доломитового цемента (рис. 2) схожи, на них присутствуют дифракционные максимумы, характерные для продуктов гидратации: гидроксида кальция (4,93; 2,63; 1,93; 1,79 Å), гидроксида магния (4,79 и 2,38 Å), кальцита (3,03; 2,27; 2,01; 1,91; 1,87 Å), высокоосновных гидросиликатов кальция (3,03; 2,8; 1,82 Å), а также исходных минералов негидратированного цемента – оксида магния (2,431 Å, 2,106 Å, 1,487 Å), кварца (4,25; 3,68; 3,34 Å и др.).

Рентгенограммы и ИК-спектры гидратированного доломитового цемента представлены на рис. 3 и 4, соответственно.

На ИК-спектрах (рис. 4) отмечаются полосы поглощения продуктов гидратации:  $Ca(OH)_2$  (3640  $cm^{-1}$ ), кальцита (880  $cm^{-1}$  узкая; 1410–1450  $cm^{-1}$  широкая; 570–580  $cm^{-1}$ ), а также характерные для высокоосновных и среднеосновных гидросиликатов кальция в области 1000–1010  $cm^{-1}$ . Остальные полосы относятся к кварцу.

Поскольку из продуктов гидратации и негидратированной части цемента гидроксид кальция и кальцит обладают положительным поверхностным зарядом, а гидросиликаты кальция и кварц – отрицательным, они могут образовывать электрогетерогенные контакты, обуславливающие твердение доломитового цемента и прочность цементного камня.

Однако для подтверждения этого предположения и достижения еще большей прочности доломитового цемента необходимо провести более детальные исследования электроповерхностных свойств его составляющих.

### Выводы и рекомендации

1. В результате проведенных исследований получен твердеющий при затворении водой доломитовый цемент, изготавливаемый совместным обжигом при температуре 1000 °C отсева доломита и отходов обогащения углей (алюмосиликатных соединений) с последующим помолом до удельной поверхности 3200–3300  $cm^2/g$ . В продуктах обжига обнаружены свободные CaO и MgO, муллит, кварц, некоторое количество белита.

2. При затворении полученного доломитового цемента (цементно-песчаного раствора 1:3) водой при В/Ц = 0,4–0,45 он твердеет и приобретает прочность на сжатие после тепловлажностной обработки при 95°C – 21 МПа, после 28 суток естественного твердения – 4 МПа. В гидратированном цементе установлены продукты гидратации: гидроксиды кальция и магния, кальцит, высокоосновные гидросиликаты кальция, а также исходные минералы негидратированного цемента – оксид магния, кварц.

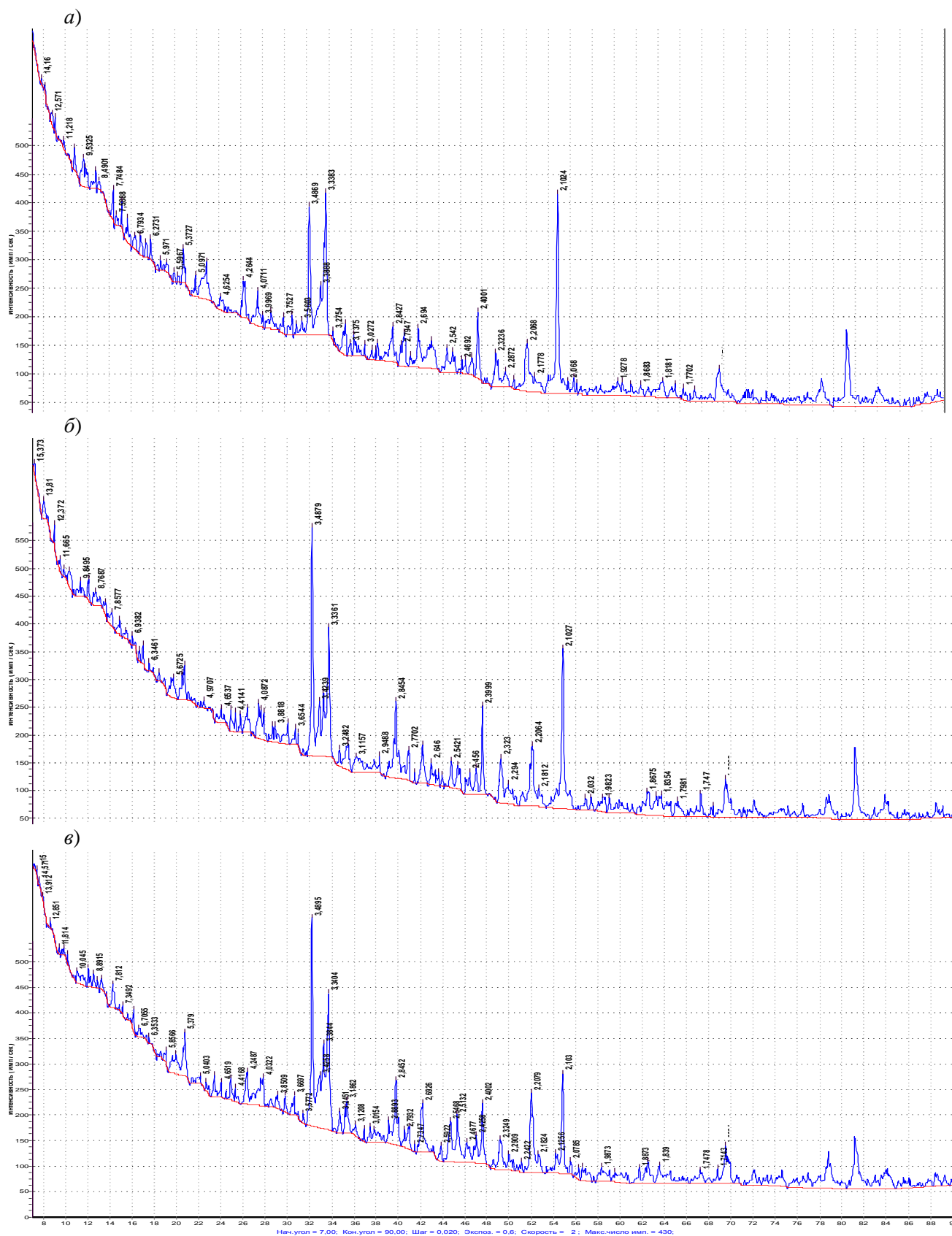


Рис. 2. Рентгенограммы доломитового цемента с соотношением ОД:ОУ:

а – 1:1; б – 1:2; в – 1:3

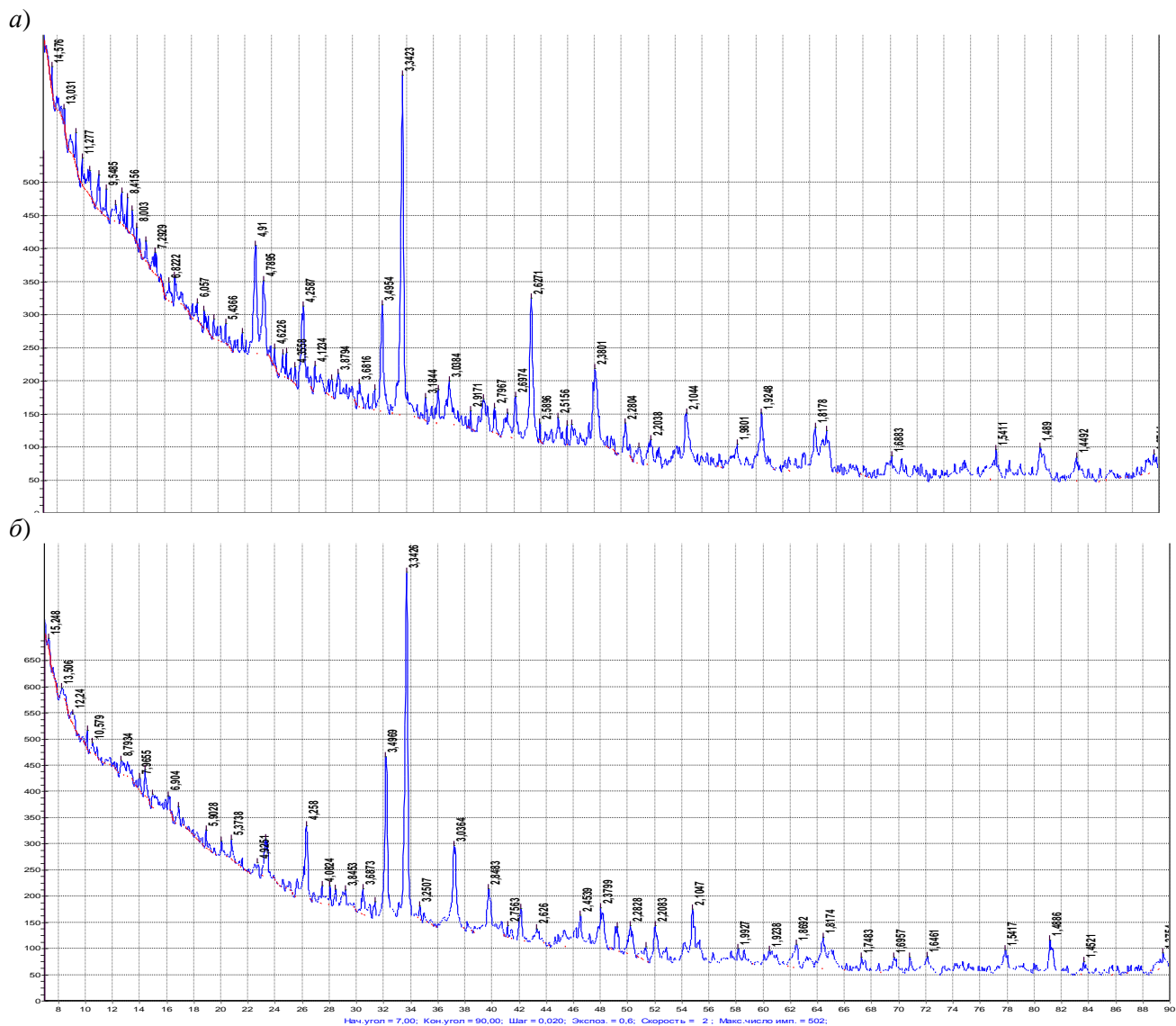


Рис. 3. Рентгенограммы гидратированного доломитового цемента с соотношением ОД:ОУ: а – 1:1; б – 1:2

3. Твердение и прочность полученного доломитового цемента объяснены образованием в структуре цементного камня некоторого количества электрогетерогенных контактов между кристаллами гидроксида кальция и кальцита, обладающих положительным поверхностным зарядом и частицами гидросиликатов кальция и кварца, обладающих отрицательным поверхностным зарядом. Для подтверждения этого объяснения и достижения еще большей прочности

доломитового цемента необходимо провести более детальные исследования электроповерхностных свойств его составляющих.

4. Разработанный доломитовый цемент может быть рекомендован как местное низкомарочное энергосберегающее вяжущее, область применения которого должна быть уточнена в результате исследования его водостойкости и морозостойкости.



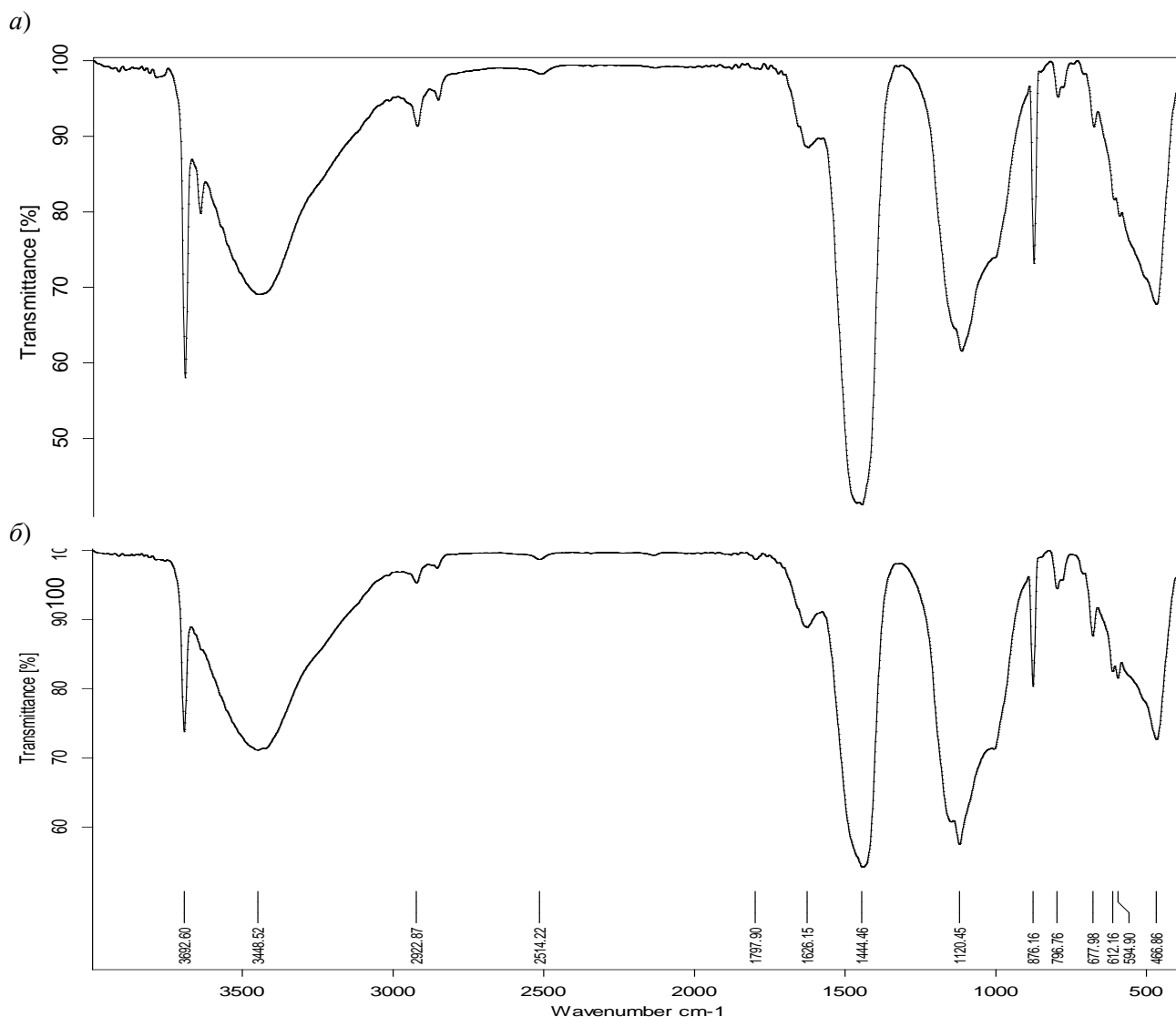


Рис. 4. ІК-спектри гідратованого доломитового цементу  
с соотношением ОД:ОУ: а – 1:1; б – 1:2

*Список использованных источников*

1. Єрмакова, Є.В. Оцінка стану навколишнього природного середовища в районі розміщення Докучаєвського флюсо-доломітного комбінату й можливі шляхи його поліпшення [Текст] / Є.В. Єрмакова // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНТУ. – 2000. – С. 1-11.
2. Пługін, А.А. Колоїдна хімія та фізико-хімічна механіка як основа виробництва ресурсозберігаючих мінеральних в'язучих речовин та високоефективних композиційних матеріалів на їх основі [Текст] / А.А. Пługін, А.М. Пługін, О.С. Кагановський, О.В. Градобоев // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 138. – С. 7-19.
3. Байков, А.А. Портландцемент и теория твердения гидравлических цементов [Текст] / А.А. Байков // Техничко-економический вестник. – М.; Петроград, 1923. – Т. 3. – № 4. – С. 206-215.
4. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Знание, 1958. – С. 321-322.
5. Пługин, А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них [Текст]: монография в 3-х т. – Т.3. Теория прочности,

разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А. Калинин и др. – К.: Наукова думка, 2012. – 288 с.

6. Пашенко, О.О. В'язучі матеріали [Текст] / О.О. Пашенко, В.П. Сербін, О.О. Старчевська. – К.: Вища школа, 1995. – 440 с.

7. Sorel S. Improved composition to be used as a Cement and as a Plastic Material for Molding Various Articles [Text] // United States Patent Office. – Patent 53/092, 06.03.1866. – Of Paris, France.

8. Выродов, И.П. К вопросу о твердении магнезиальных цементов [Текст] / И.П. Выродов, А.Г. Бергман // ЖПХ. – 1959. – Т.32. – № 4. – С.716–723.

9. Шабанова, Г.М. Високоєфективні магнезіальні в'язучі матеріали на основі вітчизняної сировини [Текст] // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип.138. – С. 148–154.

10. Смирнов, Б.И. Исследование химического взаимодействия окиси магния с растворами хлористого магния различных концентраций [Текст] / Б.И. Смирнов, Е.С. Смирнова, Е.Е. Сегалова // ЖПХ. – 1967. – № 3. – С. 505–514.

11. Вайвад, А.Я. Магнезиальные вяжущие вещества [Текст] / А.Я. Вайвад. – Рига: Наука, 1971. – 315 с.

12. Зырянова, В.Н. Физико-химические процессы при гидратационном твердении композиционных магнезиальных вяжущих веществ [Текст] / В.Н. Зырянова, Г.И. Бердов, В.И. Верещагин // Современные проблемы производства и использования композиционных строительных материалов: материалы Всерос. конф. – Новосибирск, 2009. – С. 50–52.

13. Козлова, В.К. Особенности механизма гидратации и твердения каустического доломита [Текст] / В.К. Козлова, А.М. Душевина, А.Т. Пименов // Современные проблемы строительного материаловедения: 7-е академ. чтения РААСН. – Белгород, 2001. – С. 223–227.

14. Ведь, Е.И. Получение водостойкого магнезиального цемента [Текст] / Е.И. Ведь, Б.Ф. Блудов, Е.Ф. Жаров, Н.И. Пивень // тр. БТИСМ. Химия и химическая технология, 1972. – Вып. 2. – С. 38–41.

15. Бирюлева, Д.К. О механизме твердения доломитового цемента [Текст] / Д.К. Бирюлева, Н.С. Шелихов, Р.З. Рахимов // Актуальные проблемы строительного материаловедения: тез. докл. 3-х академ. чтений. – Саранск, 1997. – С. 119.

16. Крамар, Л.Я. Особенности твердения магнезиального вяжущего [Текст] / Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных, Б.Я. Трофимов // Цемент и его применение. – 2006. – № 9. – С. 58–61.

17. Винниченко, В.И. Получение цемента из отходов доломита [Текст] / В.И. Винниченко, А.Н. Рязанов // Экология и промышленность. – 2013. – № 2. – С. 111–113.

18. Борисов, И.Н. Энергоэффективные строительные материалы на основе доломита и угольных отходов [Текст] / И.Н. Борисов, В.И. Винниченко, А.Н. Рязанов / Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2013. – Вып. XX. – С. 114–117.

19. Рязанов, А.Н. Теоретическое обоснование комплексного использования доломита и угольных отходов для получения строительных материалов [Текст] / А.Н. Рязанов, В.И. Винниченко, А.А. Плугин // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 138. – С. 77–85.

---

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту; тел. (057) 730 10 63; тел./факс (057) 771 46 91; E-mail: info@kart.edu.ua; plugin\_aa@kart.edu.ua

Вінниченко Варвара Іванівна, д-р техн. наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури; тел. (050)167 97 05; E-mail: office@kstuca.kharkov.ua; vvinnichenko@ukr.net

Борзяк Ольга Сергіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту; тел. (057) 730 10 63; E-mail: info@kart.edu.ua; borzjaka@mail.ru

Рязанов Олександр Миколайович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедри архітектури будівель і споруд Луганського національного аграрного університету; тел. (064 2) 59 97 62; E-mail: rector@lnau.lg.ua; ryazanov@lnau.lg.ua

## **Будівельні матеріали, конструкції та споруди**

---

Plugin Andrii A., doct. of techn. sciences, professor, head of building materials, constructions and buildings department of Ukrainian State Academy of Railway Transport; тел. (38 057) 730 10 63; тел./факс (38 057) 771 46 91; E-mail: info@kart.edu.ua; plugin\_aa@kart.edu.ua

Vinnichenko Varvara I., doct. of techn. science, professor of mechanization of constructions process department, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture; tel. (38 050) 167 97 05; E-mail: office@kstuca.kharkov.ua; vvinnichenko@ukr.net

Borziak Olga S., cand. of techn. sciences, docent of building materials, constructions and buildings department of Ukrainian State Academy of Railway Transport; тел. (38 057) 730 10 63; E-mail: info@kart.edu.ua; borzjaka@mail.ru

Ryazanov Oleksandr M., cand. of techn. sciences, docent, head of architecture of constructions and buildings department of Lugansk National Agriculture Univeresity; tel. (064 2) 59 97 62; E-mail: rector@lnau.lg.ua; ryazanov@lnau.lg.ua