

УДК 691.32:54.061:54.062

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ  
БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ**

**INVESTIGATIONS OF THE PROCESSES OF STRUCTURE  
FORMATION IN CONCRETE CONDITIONS ON WINTER  
CONCRETING**

Агзамов Ф.А., Ломакина Л.Н., Гафурова Э.А., Бикмеева Н.Б.  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический  
университет», г. Уфа, Российская Федерация

F.A. Agzamov, L.N. Lomakina, E.A. Gafurova, N.B. Bikmееva  
FSBEI of HPE “Ufa state petroleum technological university”,  
Ufa, the Russian Federation

e-mail: lomakinaln@mail.ru

**Аннотация.** Ранее в качестве противоморозной добавки при бетонировании конструкций предприятие применяло традиционную добавку нитрит натрия. При этом, бетон с использованием аналогичной технологии укладки и прогрева набирал проектную прочность в установленные сроки.

Для выяснения причин деструкции бетона специалистами ФГБОУ ВПО УГНТУ были проведены исследования образцов из конструкций плит перекрытия методами рентгенофазового анализа и синхронного термического анализа (ТГ + ДСК). Рентгенофазовый анализ осуществлялся по рентгенограммам, полученным на дифрактометре «D2 Phaser» (Bruker), обрабатывались лицензионной версией программы «Diffraс. Eva» с использованием лицензионной

базы данных «PDF-2». Синхронный термический анализ проводился по материалам, полученным на приборе синхронного термического анализа «STA 449 F3 Jupiter» и масс-спектрометра «QMS 403 C Aeolos» (Netzsch). Результаты обрабатывались с помощью лицензионных программ «NetzschProteus. ProteusAnalysis» и «Aeolos. Dispsav».

Исследованы процессы структурообразования бетона плит перекрытий в связи с их деструкцией по причине изменения состава и технологии бетона при проектировании в условиях зимнего бетонирования на одной из строительных площадок города Уфа.

Методами рентгенофазового анализа и синхронного термического анализа эффективно проведена экспертиза составов бетона и выяснена причина его деструкции. Доказано изменение состава бетона при его проектировании за счет введения другой добавки взамен существующей.

Проведенный комплекс исследований показал, что методами рентгенофазового анализа и синхронного термического анализом можно эффективно установить виды добавок использованных в бетонах, и использовать рассматриваемые методы для экспертизы составов бетона.

Применительно к рассматриваемым бетонам было доказано применение поташа и лигносульфонатов при зимнем бетонировании.

**Abstract.** Abstract. Early as antifreeze additive for concreting construction company uses traditional additive sodium nitrite. While the concrete using the same stacking technology and warming gaining strength in the project deadlines.

To determine the causes of degradation of concrete specialists VPO

UGNTU studies were carried out samples of slabs structures by X-ray analysis and simultaneous thermal analysis (TG DSC). X-ray analysis was carried out on rentgenogram received diffractometer “D2 Phaser” (Bruker), treated with a licensed version of the program “Diffrac. Eva” using licensed databases “PDF- 2”. Simultaneous thermal analysis was carried out on material obtained by simultaneous thermal analysis instrument “STA 449 F3 Jupiter” and mass spectrometer “QMS 403 C Aeolos” (Netzsch). The results were processed using licensed programs “NetzschProteus. ProteusAnalysis” and “Aeolos. Dispsav”.

Investigation of the processes of structure formation of concrete floor slabs in connection with their destruction due to changes in the composition and technology of concrete when designing the winter concreting on one of the construction sites in the city of Ufa.

Methods of x-ray phase analysis and simultaneous thermal analysis effectively an examination of the structures of concrete and found out the reason of its destruction. Proven change in the composition of concrete in its design, due to the introduction of other supplements to replace the current.

Research efforts showed that by X-ray analysis and simultaneous thermal analysis can be efficiently set up kinds of additives used in concrete, and use methods under consideration for the examination of concrete compositions.

Concretes considered in relation to the use of potash has been proven and lignosulfonates in winter concreting.

**Ключевые слова:** бетон, гидратация цемента, деструкция, рентгенофазовый анализ, термический анализ.

**Key words:** concrete, cement hydration, destruction, x-ray phase analysis, thermal analysis.

Современные методы строительства позволяют проводить бетонирование конструкций в условиях, не благоприятных для гидратации цемента. К ним можно отнести бетонирование в зимнее время, особенно в период колебаний температуры окружающей среды с переходом через 0°C. При этом для обеспечения долговечности строительных конструкций предъявляются повышенные требования к проектированию состава бетона.

В начале марта 2013 году на объекте одного из предприятий г. Уфы бетон, предназначенный для бетонирования конструкций плит перекрытия и привезенный на строительную площадку, набрал менее 30% проектной прочности, несмотря на использование всего комплекса мероприятий, предусмотренных технологией зимнего бетонирования, в частности, для прогрева бетона, был использован электропрогрев проводом ПНСВ. Также в процессе твердения бетона с прогревом наблюдалось обильное газовыделение.

Из-за недостаточной прочности бетона заказчик был вынужден демонтировать конструкцию и провести повторное бетонирование новым бетоном, что привело к дополнительным материальным затратам.

Ранее в качестве противоморозной добавки при бетонировании конструкций предприятие применяло традиционную добавку нитрит натрия. При том, бетон с использованием аналогичной технологии укладки и прогрева набирал проектную прочность в установленные сроки.

Для выяснения причин деструкции бетона специалистами ФГБОУ ВПО УГНТУ были проведены исследования образцов из конструкций плит перекрытия методами рентгенофазового анализа и синхронного термического анализа (ТГ + ДСК). Рентгенофазовый

анализ осуществлялся по рентгенограммам, полученных на дифрактометре «D2Phaser» (Bruker), обрабатывались лицензионной версией программы «Diffrac. Eva» с использованием лицензионной базы данных «PDF-2». Синхронный термический анализ проводился по материалам, полученным на приборе синхронного термического анализа «STA 449 F3 Jupiter» и масс-спектрометра «QMS 403 C Aeolos» (Netzsch). Результаты обрабатывались с помощью лицензионных программ «NetzschProteus. ProteusAnalysis» и «Aeolos. Dispsav».

Для проведения анализа были взяты по три пробы с каждого из представленных трех образцов бетона:

образец №1 – из влажного бетона (с добавками) из демонтированной конструкции;

образец №2 – из сухого бетона (с добавками) из демонтированной конструкции;

образец №3 – контрольная проба бетона, не содержащая добавок.

Анализ предварительной информации и полученных материалов показал следующее.

Газовыделение из бетона во время прогрева могло быть обусловлено взаимодействием основного продукта гидратации цемента - гидроксида кальция с добавками, введенными в цементный раствор. Например, взаимодействие с порошкообразным алюминием сопровождается интенсивным выделением водорода. Однако данная схема представляется маловероятной, поскольку порошкообразный алюминий не применяется при зимнем бетонировании.

Другой возможной причиной газовыделения могло быть разложение углекислого аммония при нагреве бетона до температур

выше 58°C по схеме:  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \xrightarrow{58^\circ\text{C}} \text{NH}_3 + \text{CO}_2$ . Однако, применение данной добавки в качестве противоморозной, из патентно-литературных материалов не известно. Кроме того, рентгенофазовый анализ и синхронный термический анализ показали отсутствие в пробах бетона азотсодержащих соединений.

Достаточно распространенной противоморозными добавками, применяемыми в строительстве, является  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (поташ) или другие добавки, содержащие  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , имеющие, существенно меньшую стоимость по сравнению с другими добавками[1].

Известно[1, 2], что бетонные смеси, содержащие  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , характеризуются весьма короткими сроками схватывания. Ускоряющее действие поташа на схватывание всех основных минералов проявляется уже в малых дозировках, но, в наибольшей степени, его действию подвержен трехкальциевый алюминат, образующий гидрокарбоалюминаты кальция, обволакивающие зерна  $\text{C}_3\text{A}$  и снижающие активность иона  $\text{SO}_4^{2-}$  из состава гипса-замедлителя.

Данными РФА было подтверждено наличие гидрокарбоалюминатов кальция в пробах, привезенных с объекта.

Другим важнейшим компонентом, входящих в состав портландцемента являются силикаты кальция, суммарное количество которых в нем превышает 70%.

Причиной сокращения сроков схватывания продуктов гидратации силикатов кальция (гидросиликатов кальция) при вводе поташа служит образование нерастворимого  $\text{CaCO}_3$ , который смещает реакцию в сторону образования извести, снова вступающей во взаимодействие с ионом  $\text{CO}_3^{2-}$  с образованием  $\text{CaCO}_3$  и т.д. При этом

может наблюдаться повышенная степень гидратации портландцемента [3, 4].

С гидроксидом кальция поташ образует основные соли – гидрокарбонат и карбонат кальция с одновременным накоплением в жидкой фазе бетона едкого калия КОН и выделением углекислого газа.

При работах в условиях положительных температурах, из-за сильного ускоряющего действия поташа, его иногда комбинируют с пластификаторами, обладающих сильным замедляющим эффектом. Примером последнего является технический лигносульфонат, являющийся отходом лесохимического производства, или его производные.

По результатам физико-химических анализов проб бетона было установлено следующее.

Исследованиями рентгенофазового анализа подтверждено наличие указанных добавок в бетоне, а именно поташа и лигносульфоната.

Рентгенофазовый анализ контрольной пробы (рисунок 1) показал наличие традиционных компонентов негидратированного цемента и продуктов его твердения, характерных для бездобавочных цементов и бетонов на его основе, а именно кремнезем, портландит, ларнит, этtringит, гидросиликаты кальция, кальцит, гидроалюминаты кальция, магнезит.

## Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

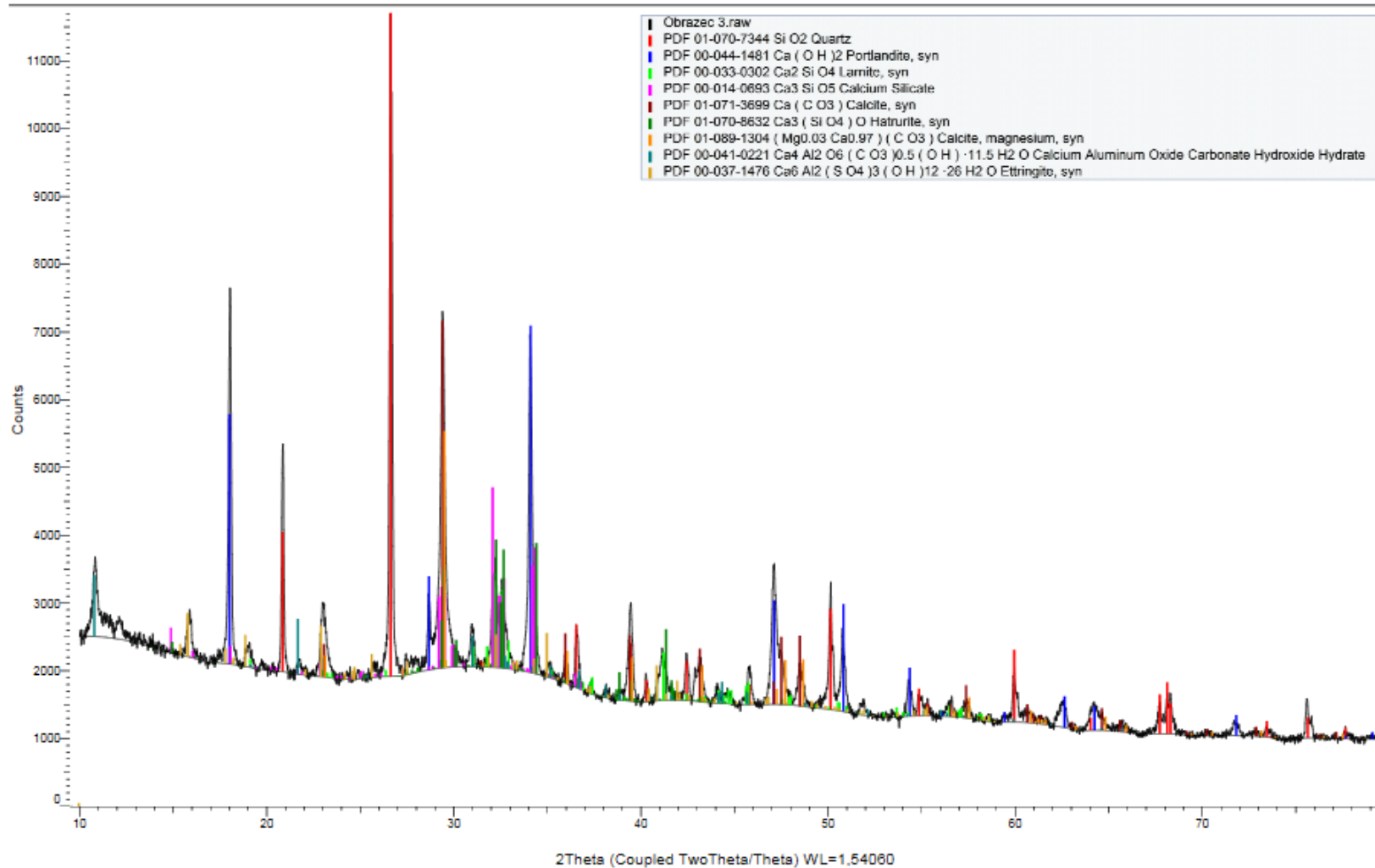


Рисунок 1. Рентгенограмма контрольного образца (образец №3)



## Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

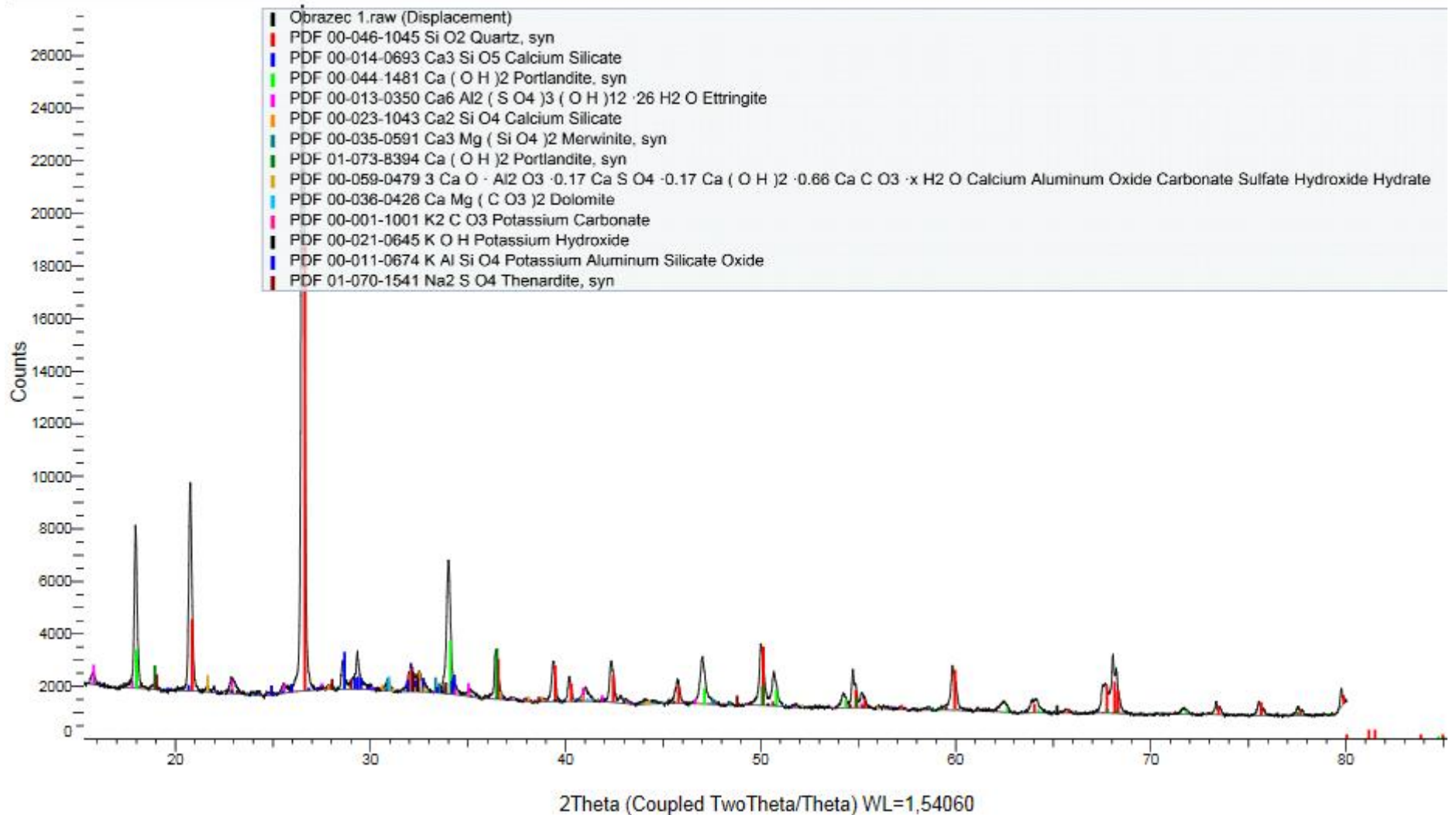


Рисунок 2. Рентгенограмма образца увлажненного бетона отобранного из конструкции (образец №1)

### Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

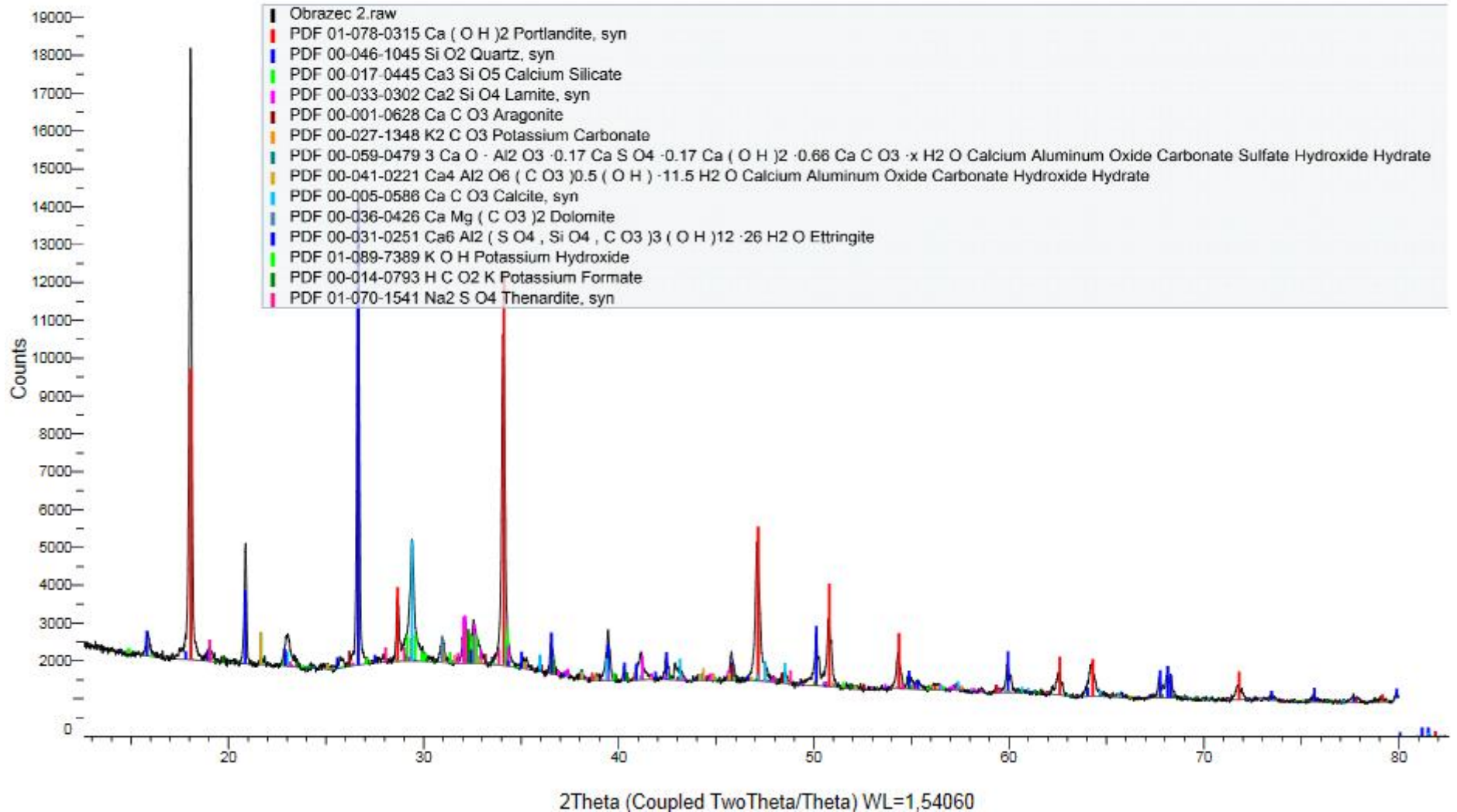


Рисунок 3. Рентгенограмма образца сухого бетона отобранного из конструкции (образец №2)

Рентгенофазовый анализ проб, доставленных с объекта (рисунки 2, 3), показал наличие фаз, присутствовавших в контрольном бетоне, и, кроме них, наличие доломита, поташа ( $K_2CO_3$ ), гидроксида калия (KOH),  $KAlSiO_4$  и  $Na_2SO_4$  – соли, которая может являться продуктом взаимодействия компонентов бетона с солями лигносульфоновых кислот – компонентами пластификатора.

О вероятности применения поташа в бетоне могут свидетельствовать и результаты дифференциально термического анализа.

Несмотря на низкую прочность бетона с объекта (рисунки 4,5), его степень гидратации почти в два раза превышает этот же показатель контрольного образца (рисунок 6) при одинаковых сроках и условиях твердения.

О степени гидратации можно судить о величине потери массы (кривая ДТГ) в интервале температур 400-500 °С, которая характеризует потерю прочносвязанной воды из цементного геля. Повышение степени гидратации объясняется именно ускоряющим действием использованной добавки.

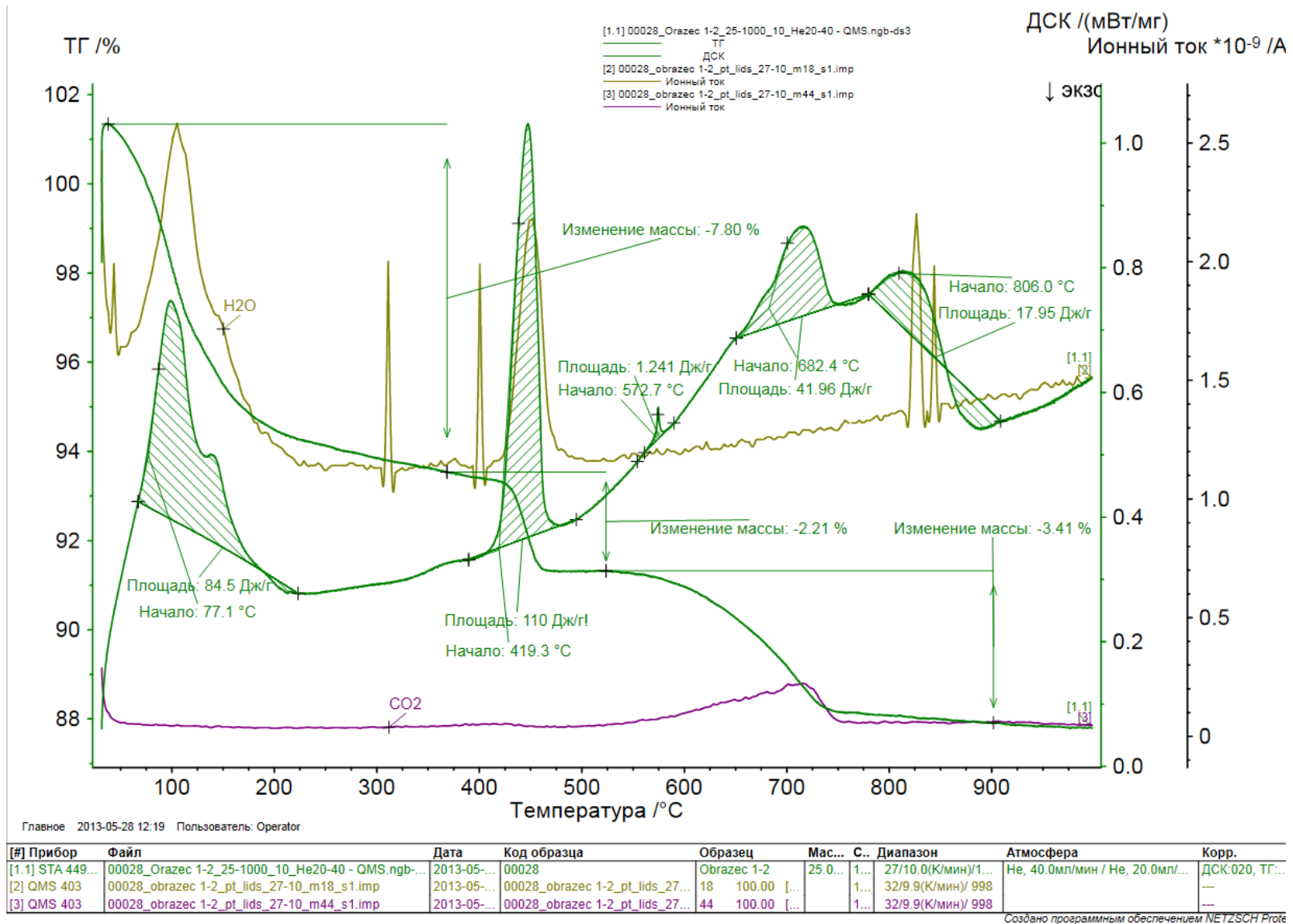


Рисунок 4. ТГ, ДСК кривые и кривые интенсивности выделения H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> (образец №1)

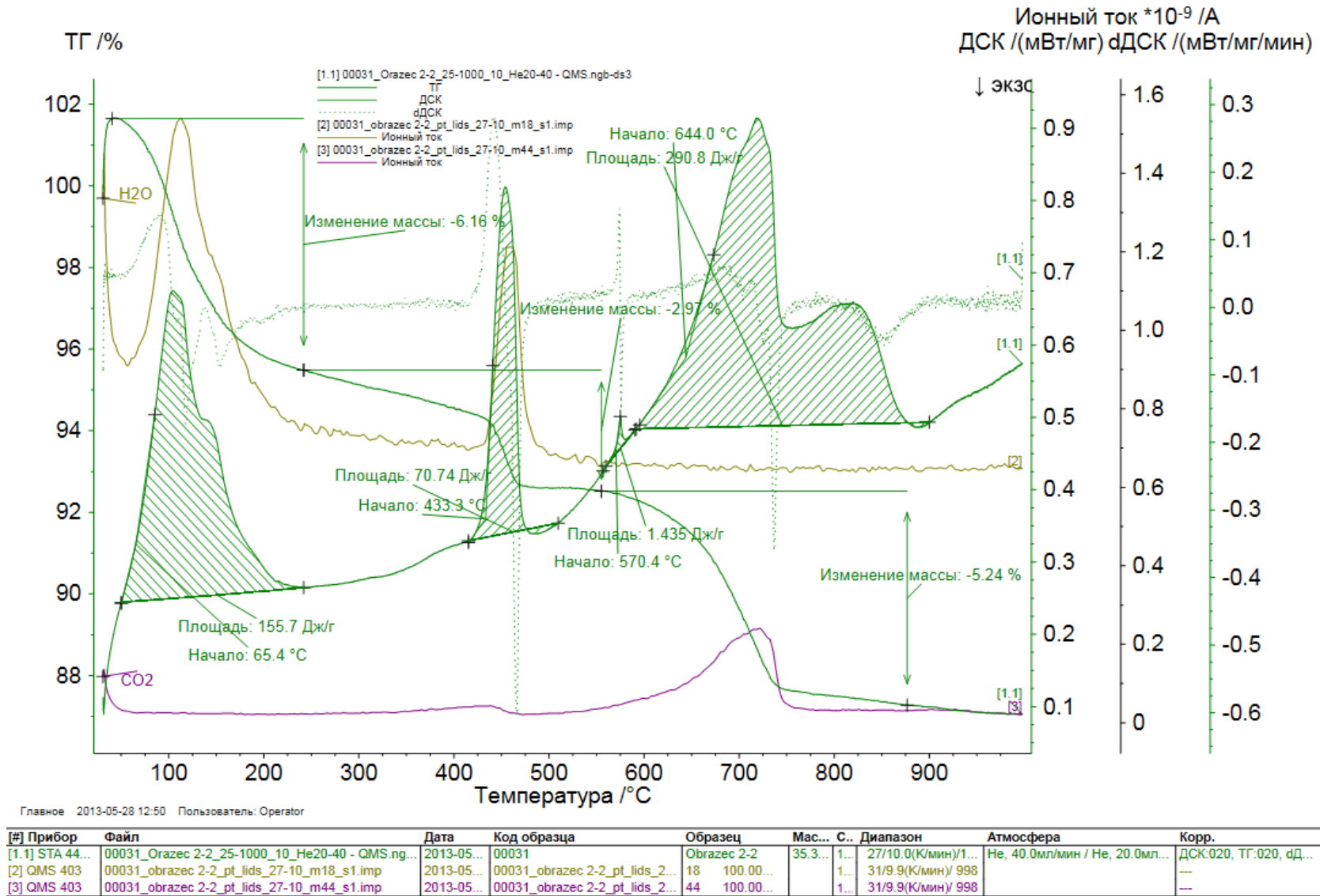


Рисунок 5. ТГ, ДСК кривые и кривые интенсивности выделения H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> ( образец №2)

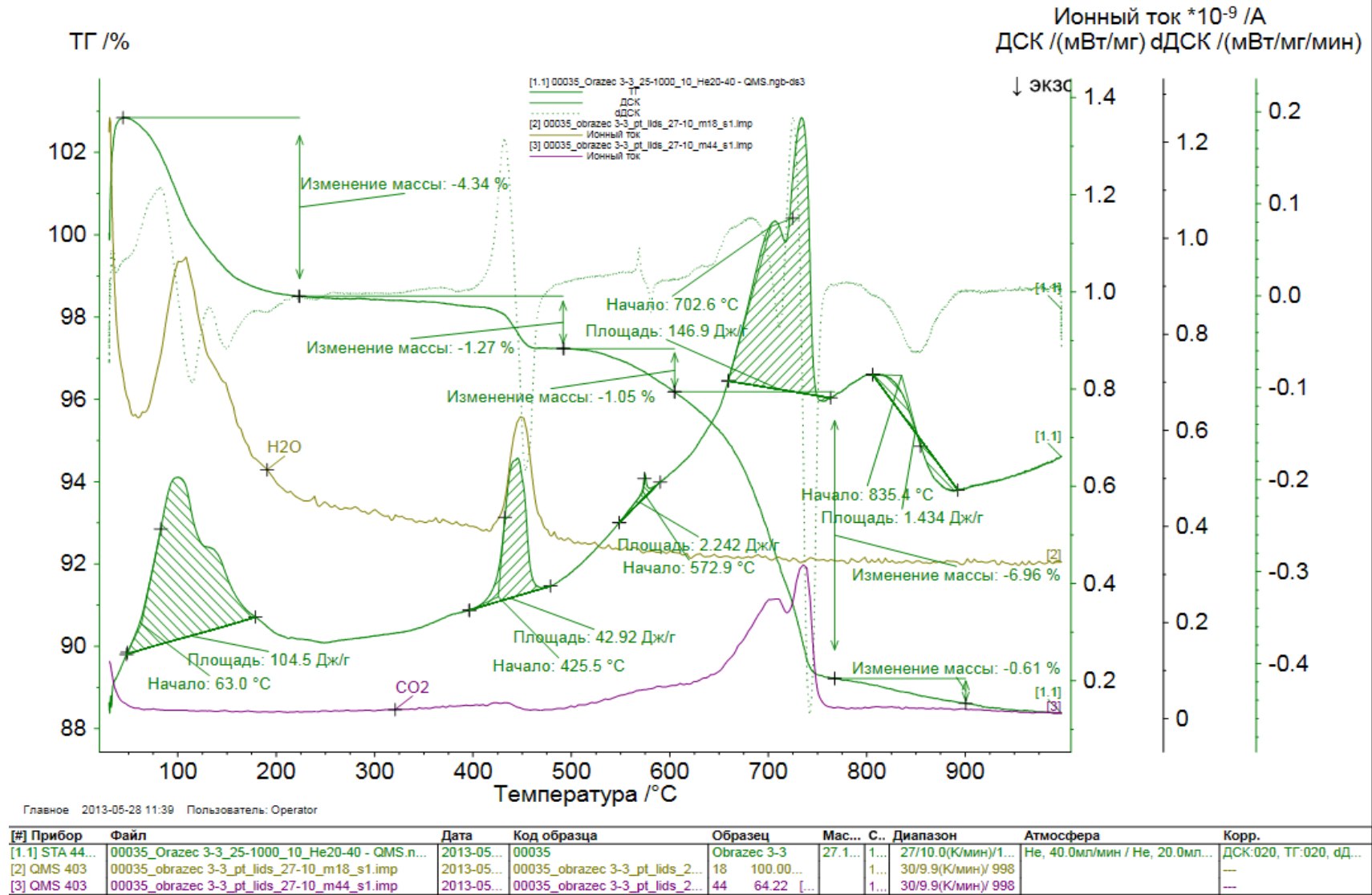


Рисунок 6. ТГ, ДСК кривые и кривые интенсивности выделения H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> (образец №3)



Проведенный комплекс исследований показал, что методами рентгенофазового анализа и синхронного термического анализом можно эффективно установить виды добавок использованных в бетонах, и использовать рассматриваемые методы для экспертизы составов бетона.

Применительно к рассматриваемым бетонам было доказано применение поташа и лигносульфонатов при зимнем бетонировании.

### **Выводы**

Очевидно, при подборе лигносульфоната не были учтены температурные условия приготовления, укладки и твердения бетонов. В частности, его концентрация подбиралась для условий нормальных температур, поэтому его концентрация оказалась большой, но поскольку бетон укладывался и начинал твердение при температурах значительно ниже, то, несмотря на ускоряющее действие поташа и высокую степень гидратации цемента, замедляющий эффект лигносульфоната оказался сильнее.

### **Список используемых источников**

1. Ратинов В.Б., Иванов Ф.м. Химия в строительстве. М.: Стройиздат, 1977. 220с.
2. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов: учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1989. 384 с .
3. Вагнер Г.Р. Роль отдельных гидратных фаз в ранних стадиях структурообразования цементных дисперсий// Коллоидный журнал.1972. № 5. С. 702–706.

4. Бутт. Ю.М., Колбасов В.М., Савин Е.С., Влияние тонкодисперсного карбоната кальция на процесс твердения и состав продуктов гидратации силикатного бетона// Строительные материалы. 1965. №3. С. 33-35.

### References

1. Ratinov V.B., Ivanov F.m. Himiya v stroitel'stve. M.: Stroizdat, 1977. 220s. [in russian].

2. Kuznecova T.V., Kudryashov I.V., Timashev V.V. Fizicheskaya himiya vyazhushih materialov: uchebnik dlya vuzov. M.: Vyssh. shk., 1989. 384 s . [in russian].

3. Vagner G.R. Rol' otдел'nyh gidratnyh faz v rannih stadiyah strukturoobrazovaniya cementnyh dispersii// Kolloidnyi zhurnal.1972. №5. S. 702-706. [in russian].

4. Butt. Yu.M., Kolbasov V.M., Savin E.S., Vliyanie tonkodispersnogo karbonata kal'ciya na process tverdeniya i sostav produktov gidratatsii silikatnogo betona// Stroitel'nye materialy. 1965. №3. S. 33-35. [in russian].

### Сведения об авторах

#### Information about authors

Агзамов Ф.А., д-р. техн. наук, проф. кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

F. A. Agzamov, Doctor of Technical Sciences, Professor of “Drilling oil and gas wells” FSBEI of HPE USPTU, the Russian Federation



Л.Н. Ломакина, канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

L.N. Lomakina, Candidate of Technical Sciences, Associate, Professor department of “Construction structure” FSBE of I HPE USPTU, the Russian Federation

Э.А. Гафурова, аспирант кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

E.A. Gafurova, Graduate Student, of “Construction structure” FSBEI of HPE USPTU, the Russian Federation

Н.Б. Бикмеева, магистрант кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

N.B. Bikmeeva, Undergraduate Student, of department “Construction structure” FSBEI of HPE USPTU, the Russian Federation

e-mail: lomakinaln@mail.ru