

# СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

*Е. Н. Потапова, РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва*

**Ключевые слова:** охрана окружающей среды, производство цемента, наилучшие доступные технологии, комплексные экологические разрешения

**Key words:** environmental protection, production of cement, best available techniques, complex ecological permissions

Цементная промышленность по праву считается одной из наиболее перспективных отраслей экономики во всех странах. Объем производства цемента в России в 2013 г. увеличился по сравнению с 2012 г. на 8%, достигнув 66,4 млн. т. Это максимальный показатель за всю современную историю страны. К 2020 г. аналитики прогнозируют значительный рост спроса на цемент (до 89–98 млн. т) [1].

Сегодня на российском рынке цемента присутствуют более 10 крупных производителей («ЕВРОЦЕМЕНТ групп», «Новоросцемент», «Сибирский цемент», «Мордовцемент», «Себряковцемент», Lafarge, Holcim, Dycerhoff, PATM, HeidelbergCement, «Востокцемент» и др.) и такое же количество мелких региональных заводов. На долю первой пятерки наиболее крупных промышленных групп приходится 61,4% общего объема производства цемента. Кроме того, на российском цементном рынке действует множество иностранных производителей.

Привлекательность отрасли привела к усилению конкуренции. В этих условиях производители цемента вынуждены пересматривать долгосрочные и краткосрочные планы развития предприятий. Важно задуматься о переходе на энергосберегающие технологии и о модернизации существующих производственных мощностей. При этом необходимо решить две проблемы. Прежде всего следует наладить финансирование модернизации предприятий цементной промышленности. Это потребует немалых средств – стоимость строительства современного завода, работающего по сухой технологии, оценивается в 300–500 млн. евро. Не менее важная задача – ликвидация технологической отсталости, ведь 72% мощностей цементной промышленности России до сих пор работают по технологии мокрого производства. Доля сухого способа в нашей стране составляет 19%, в то время как в Японии – 100%, США – 82%, странах-членах ЕС – 90%. Кроме того, серьезная проблема многих российских цементных предприятий – низкая энергоэффективность и, как следствие, высокая себестоимость выпускаемой продукции. Между тем с вступлением России в ВТО и Таможенный союз необходимо учиться работать в новых условиях, реализовывать инновации, что позволит повысить энергоэффективность, снизить себестоимость продукции и улучшить ее качество.

Модернизация устаревшего оборудования на большинстве цементных заводов страны способна уменьшить ущерб, наносимый окружающей среде. Однако кардинально изменить экономику и экологию производства цемента можно лишь путем внедрения сухого способа его изготовления. Переход с мокрого способа производства на сухой даст возможность снизить выбросы пыли из печной трубы и трубы холодильника более чем в 10 раз, потребление воды – в 2 раза, газа – в 1,5 раза, электроэнергии – на 20%.

Цементная промышленность относится к числу наиболее материалоемких и энергоемких отраслей экономики и оказывает серьезное негативное воздействие на окружающую среду.

В Российской Федерации на каждом предприятии ведется производственный контроль всех выбросов, но эта информация закрыта для общественности. О конкретных выбросах на том или ином заводе можно судить лишь по отдельным публикациям. В настоящее время на многих предприятиях осуществляется программа комплексной модернизации и реконструкции производств, включающая техническую модернизацию, установку современного оборудования, усовершенствование технологических процессов и процессов, связанных с воздействием на окружающую среду. В результате выполненных мероприятий существенно сокращаются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Однако эти сведения отрывочны и не систематизированы. Кроме того, необходимо унифицировать методики и оборудование для выполнения таких измерений и привести их в соответствие с методиками Евросоюза. Хочется надеяться, что в ближайшее время появятся данные мониторинга выбросов на отечественных цементных заводах для сопоставления их с уровнем выбросов в странах-членах ЕС [2].

Основополагающий документ по охране окружающей среды в странах-членах ЕС – принятая в 1996 г. Директива Европейского совета 96/61/ЕС «О комплексном предотвращении и контроле загрязнения (окружающей среды)» (Директива КПКЗ) [3]. Эта директива формулирует общие требования к промышленным и сельскохозяйственным предприятиям, обладающим высоким потенциалом возможного нанесения ущерба окружающей среде. Деятельность таких предприятий может осуществляться только в том случае, если предприятия сами несут ответственность за причинение ущерба окружающей среде и осуществляют мероприятия по уменьшению риска такого ущерба.

Директива КПКЗ постоянно совершенствуется и развивается. В 2008 г. она была кодифицирована (Директива 2008/1/ЕС от 15.01.2008 г.). В 2010 г. в ЕС принята новая Директива о промышленном загрязнении (комплексном предотвращении и контроле загрязнения) (Директива 2010/75/ЕС от 24.11.2010 г.), которая помимо Директивы КПКЗ объединила еще шесть директив, регулирующих выбросы промышленных производств. С 1 января 2016 г. Директива 2010/75/ЕС полностью заменит Директиву 2008/1/ЕС.

Один из основных принципов Директивы КПКЗ – лицензирование деятельности предприятия с учетом использования на данном предприятии наилучших доступных технологий (НДТ). Понятие «наилучшие доступные технологии» рассматривается как экологическая оценка, поскольку технология считается наилучшей если, по сравнению с остальными, обеспечивает защиту окружающей среды наиболее эффективным способом. Такое определение НДТ было дано в Директиве КПКЗ. При этом под доступной технологией понималась готовность разработанной технологии к внедрению, экономическая эффективность, техническая осуществимость и, наконец, положительный опыт применения данной технологии на конкретных предприятиях.

Под технологией подразумевалась не только технология производства конкретной продукции как таковая, но и процесс проектирования и строительства предприятия, на котором технология используется, а также вывод предприятия из эксплуатации по окончании жизненного цикла. Европейцы раньше своих заокеанских коллег перешли в Директиве КПКЗ к концепции защиты окружающей среды как единого целого. Технология может считаться наилучшей только в том случае, если она обеспечивает оптимальное, с позиции минимизации наносимого окружающей среде ущерба, соотношение между выбросами, сбросами, размещенными отходами, физическими воздействиями.

Предприятия, использующие КПКЗ/НДТ, снижают производственные расходы, расходы на устранение загрязнений, соответствующие трудозатраты, ущерб окружающей среде, животному миру, объектам недвижимости, затраты на реабилитацию территории, риск административных и уголовных наказаний, расходы на получение экологических разрешений, расходы на страхование, отклонения от технологических регламентов, простои оборудования.

Директива КПКЗ содержит перечень основных загрязнителей воздуха, которые принимаются в расчет, если они относятся к выбросам с фиксируемой величиной ограничений.

Следующим шагом, предусмотренным в Директиве КПКЗ, стал переход к комплексным экологическим разрешениям – документам, позволяющим предприятиям осуществлять воздействие на окружающую среду в тех пределах, которые не превышают нормативов эмиссий, соответствующих НДТ, и не приводят к ухудшению состояния окружающей среды.

Комплексные экологические разрешения предполагают, что выбросы вредных веществ в атмосферу, сбросы их в водные объекты (в том числе через канализационную сеть), обращение с отходами и некоторые другие виды воздействия на окружающую среду следует рассматривать в неразрывной взаимосвязи, комплексно [4]. Это означает, что органы регулирования должны устанавливать условия экологических разрешений таким образом, чтобы достигать высокого уровня защиты окружающей среды в целом. Как правило, в основе таких условий лежит концепция НДТ. Согласно НДТ выгоды для окружающей среды в целом сопоставляются с затратами, которые несет оператор установки. Посредством этой концепции система комплексных разрешений пытается предотвратить производство отходов и выбросы/сбросы, а там, где это неосуществимо, сократить их до приемлемого уровня.

Выдача комплексных разрешений – это всего лишь процедура, которую можно выстроить исходя из имеющегося опыта управления, институциональных особенностей государства, традиций, менталитета. Именно поэтому различия между процедурами имеются даже в странах-членах ЕС, хотя источником и базисом этих процедур является одна и та же Директива КПКЗ. Иное дело НДТ, которые представляют собой обобщение многолетнего практи-

ческого опыта, вершину разработок ученых, технологов, производителей. Даже в пределах одной отрасли собрать сведения по технологиям, разделить их по этапам производственного процесса с оценкой экологической эффективности на каждой стадии, вновь интегрировать в единое целое и поместить в специальный справочник – чрезвычайно трудозатратная и интеллектуально емкая задача.

Статья 17 Директивы КПКЗ предписывает странам-членам ЕС принимать необходимые меры по предоставлению в Европейскую комиссию данных о предельных величинах эмиссий по тем видам деятельности, которые подпадают под действие Директивы, а также данных о НДТ, которым эти предельные величины эмиссий соответствуют. Для организации такого обмена информацией было создано Европейское бюро по комплексному предотвращению и контролю загрязнения (КПКЗ бюро). Это бюро было основано в 1997 г. в Севилье (Испания) на базе Института перспективных технологических исследований. С этого времени обмен информацией, призванный содействовать эффективному внедрению Директивы КПКЗ на всем пространстве ЕС, часто называют Севильским процессом.

Основным результатом или продуктом работы Европейского КПКЗ бюро являются Справочные документы по НДТ. Именно к этим документам обращаются компетентные органы, рассматривая вопросы выдачи комплексных природоохранных разрешений предприятиям стран-членов ЕС, подпадающим под действие Директивы КПКЗ. В настоящее время на сайте Европейского КПКЗ бюро (<http://eippcb.jrc.es/reference/>) обеспечен доступ к 33 действующим Справочным документам и шести проектам, находящимся в стадии пересмотра.

Все подготовленные Европейским КПКЗ бюро Справочные документы можно подразделить на отраслевые и так называемые горизонтальные, включающие сведения, представляющие интерес для широкого круга предприятий.

Отраслевые Справочные документы содержат описание производственных процессов (технологий, методов), начиная с выбора сырья и материалов и заканчивая отправкой готовой продукции, которые считаются НДТ для рассматриваемой категории промышленных предприятий.

Следует подчеркнуть, что в Справочных документах по НДТ не обсуждаются предельно допустимые концентрации, состояние окружающей среды и не приводятся значения предельно допустимых выбросов, сбросов, объемов образования отходов. Справочные документы по своей сути не являются предписаниями, но служат важным источником информации для субъектов хозяйственной деятельности, поскольку содержат сведения о наиболее эффективных решениях, направленных на рационализацию использования ресурсов и сокращение негативного воздействия на окружающую среду. Для природоохранных органов, ответственных за комплексную разрешительную процедуру, Справочные документы – это ссылочные материалы, дающие возможность четко сформулировать требования, которые могут быть предъявлены предприятиям (и включены в соответствующие разрешения).

Важно принимать во внимание то, что хотя сами документы носят рекомендательный справочный характер и не являются обязательными для исполнения, Директива КПКЗ фактически обязывает предприятия либо внедрять технологические и технические решения, описанные в Справочных документах, либо разрабатывать и (или) использовать альтернативные решения, доказывая, что с точки зрения экологической результативности (удельного потребления ресурсов и воздействия на окружающую среду) эти решения не уступают решениям, отнесенным к категории НДТ. Демонстрация соответствия «рекомендательным» требованиям, содержащимся в Справочных документах, рассматривается как условие демонстрации соответствия требованиям Директивы КПКЗ.

При создании новых предприятий целесообразно проводить анализ Справочных документов по НДТ на начальном этапе. Многие новые проекты (в особенности реализуемые с привлечением иностранного капитала) на поверку оказываются основанными на НДТ. Это свидетельствует в пользу применения Справочных документов при проведении процедуры оценки воздействия на окружающую среду.

Действующие предприятия могут руководствоваться рядом технических решений, отнесенных к НДТ. Как правило, такие решения позволяют сократить негативное воздействие на окружающую среду и при этом улучшить технико-экономические показатели – энерго- и ресурсоэффективность, качество продукции, ритмичность производства. В некоторых случаях применение Справочных документов по НДТ для постановки целей и задач в системе экологического менеджмента, сопоставления характеристик выбросов и

сбросов загрязняющих веществ с достигнутыми в Европе открывает возможности развития общественного диалога, улучшения отношений как с контролирующими органами, так и с общественностью.

Справочный документ по НДТ «Производство цемента, извести и оксида магния» был принят в декабре 2001 г. и пересмотрен в 2009 и 2013 гг. [5]. В 2013 г. в развитие информационного обмена между Еврокомиссией и государствами-членами ЕС было принято Решение «О заключениях по наилучшим доступным технологиям в соответствии с Директивой 2010/75/ЕС о промышленных выбросах для производства цемента, извести и оксида магния (2013/163/ЕС)» [6].

Важнейшие критерии выполнения Директивы в производстве цемента – снижение выбросов в воздух, эффективность применения энергии и сырьевых материалов, минимизация, сбор и повторное использование производственных потерь/отходов, а также эффективные системы охраны окружающей среды. Перечисленные критерии относятся как к различным технологиям, интегрированным в технологический процесс, так и к законченным технологическим процессам, используемым в цементной промышленности. Технологии, включенные в данный документ, позволяют потенциально достигнуть или содействовать высокому уровню защиты окружающей среды.

Применительно к цементному производству в список включены следующие загрязняющие вещества (отходы): оксид азота ( $\text{NO}_x$ ) и другие соединения азота; диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ) и другие соединения серы; пыль; суммарные органические соединения, включая летучие; полихлорированные дибензодиоксины (ПХДД) и полихлорированные дибензофураны (ПХДФ); металлы и их соединения; фтористый водород (HF); хлористый водород (HCl); оксид углерода (CO). В данный список не входит диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , хотя при производстве цемента он образуется в значительных количествах.

Данные об уровне выбросов из вращающихся печей в атмосферу в России и странах-членах ЕС приведены в таблице.

**Уровень выбросов из вращающихся печей в атмосферу**

Выбросы	Уровень выбросов, мг/м <sup>3</sup>		
	на конец 1990 г. в странах ЕС	в настоящее время	
		в странах ЕС	в РФ
Пыль	5–200	10–20	20–500
$\text{NO}_x$	200–3000	< 200–800	200–1400
$\text{SO}_2$	10–3500	< 50–< 400	20–1800
Металлы (Hg, Tl, As, Se и др.)	0,01–0,8	< 0,05–< 0,5	–
HCl	–	< 10	–
HF	–	< 1	–
Общие органические вещества	5–500	50	–
ПХДД/ПХДФ	0,1–0,5 нг/м <sup>3</sup>	< 0,05–0,1 нг/м <sup>3</sup>	–

За последние 20 лет уровень выбросов из вращающихся печей в странах-членах ЕС снизился в 10 раз. В нашей стране уровни выбросов все еще высоки. Нижние границы в представленных данных относятся к выбросам на новых современных линиях по производству цемента, однако они составляют менее четверти мощностей цементной промышленности России. Кроме того, в РФ отсутствуют реальные данные о выбросах в окружающую среду, полученные по принятым в странах-членах ЕС методикам.

Результаты международных проектов, реализованных в России в последние годы, свидетельствуют о том, что материалы Справочных документов весьма интересны для отечественных специалистов. Эти материалы уже находят применение в процедурах оценки воздействия на окружающую среду, при обосновании показателей результативности экологического менеджмента и при выполнении сравнительного анализа (бенчмаркинга) предприятий одной отрасли.

В сложившихся обстоятельствах должна возрасти роль национальных стандартов, которые могут быть использованы в качестве доказательной базы в процедурах оценки воздействия на окружающую среду и приняты во внимание органами государственной экспертизы при проведении экологической экспертизы проектов создания новых производств.

Стандарты создают также основу для бенчмаркинга, выявления лидеров отрасли и сбора информации, которая впоследствии может быть положена в основу разработки столь необходимых российских Справочных документов по НДТ.

В последние годы в нашей стране были разработаны стандарты по НДТ, непосредственно относящиеся к производству строительных материалов. В 2010 г. был издан национальный стандарт ГОСТ Р 54194-2010 «Ресурсосбережение. Производство цемента. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности». Стандарт основан на Справочных материалах по НДТ в производстве цемента и учитывает некоторые особенности проектов, выполненных в России. Основным недостатком стандарта заключается в том, что выбранные показатели энергоэффективности и экологической результативности заимствованы из европейских Справочных документов и, таким образом, отражают уровень НДТ в Европе, но не в России. Это следствие того, что отечественные производители достаточно закрыты и не готовы участвовать в процедуре бенчмаркинга. Однако такая позиция весьма недальновидна, поскольку уже в ближайшее время должен быть принят закон о технологическом нормировании российских предприятий, и для установления требований будут использоваться либо материалы европейских Справочных документов, либо материалы национальных стандартов. Переход к нормированию воздействия предприятий на окружающую среду с использованием НДТ не может не затронуть такие вопросы, как нормативы качества окружающей среды, платежи за негативное воздействие, экологический аудит и экономическое стимулирование предприятий, переходящих на новую систему нормирования. В связи с этим представляется необходимым доработать стандарт, включив в него сведения о наилучшей достигнутой в России энергоэффективности и экологической результативности производства цемента.

Интересен в этом плане опыт Республики Беларусь. В 2012–2013 гг. в рамках проекта «Управление качеством воздуха в странах Восточного региона ЕИСП»\* в Республике Беларусь выполнялся национальный пилотный проект «Разработка технологических нормативов и системы производственного контроля выбросов загрязняющих веществ для предприятий цементной промышленности». Основной целью проекта было улучшение охраны атмосферного воздуха в республике путем разработки технологических нормативов и совершенствования системы контроля выбросов, снижения загрязнения окружающей среды и климатического воздействия, повышения уровня взаимодействия при экологическом регулировании, развития нормативно-правового обеспечения. Задачи национального проекта – содействие поэтапному переходу основных предприятий цементной отрасли и в целом важнейших промышленных производств на систему комплексных разрешений, совершенствование системы производственного контроля выбросов на предприятиях цементной промышленности и совершенствование институционального потенциала, информационное обеспечение нормирования выбросов загрязняющих веществ. С 1 января 2016 г. все предприятия Республики Беларусь (не только цементные) должны перейти на комплексные экологические разрешения.

В ходе реализации пилотного проекта были разработаны, обсуждены и подготовлены нормативные документы по техническому регулированию и производственному контролю выбросов промышленных производств Республики Беларусь на основе цементной промышленности: Проект ТКП\*\* «Правила производственного контроля за охраной атмосферного воздуха и выбросами загрязняющих веществ от предприятий по производству цемента» и Проект ТКП «Технологические нормативы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями по производству цемента». Оба ТКП предназначены для использования в Беларуси в качестве юридически обязательных актов. Документы предусматривают постепенное сокращение выбросов загрязняющих веществ и достижение к 2018 г. уровня, соответствующего уровню НДТ в Европе.

По результатам проекта выпущена книга с CD-диском [7], на котором приведены разработанные в ходе реализации проекта материалы, некоторые нормативные документы, относящиеся к выбросам загрязняющих веществ в окружающую среду, энергоэффективности производства, использованию альтернативного топлива, а также представлены различные

---

\* ЕИСП – Европейский инструмент соседства и партнерства.

\*\* ТКП (Технический кодекс установившейся практики) входит в систему технического нормирования и стандартизации Республики Беларусь.

технические решения, реализация которых в цементной промышленности позволит повысить энергоэффективность производства и снизить выбросы загрязняющих веществ. Все эти материалы будут интересны и для российских цементников.

В заключение необходимо отметить, что создание и укрепление базы национальных стандартов, в том числе стандартов по НДТ, и вовлечение в процесс их разработки ведущих производителей цемента будут способствовать упрочению позиций отечественных предприятий на международном рынке и повышению энергоэффективности и экологической результативности экономики. Это соответствует целям развития России.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Потапов В. И., Яшина О. Н., Бороденок Д. О. Обзор цементной отрасли стран Таможенного союза // *Алитинформ*. – 2013. – № 3 (30). – С. 14–31.
2. Потапова Е. Н., Гусева Т. В. Развитие систем менеджмента предприятий цементной промышленности с учетом требований к энергетической эффективности и экологической результативности // *Актуальные вопросы инновационной экономики*. – 2013/2014. – № 6 (5). – С. 157–165.
3. Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control // *Official Journal of the European Union*. – 1996. – Vol. 39. – 10 October 1996. – L 257. – P. 0026–0040.
4. Наилучшие доступные технологии и комплексные экологические разрешения: перспективы применения в России / под ред. М. В. Бегака. – М.: ЮрИнфоР-Пресс, 2010. – 220 с.
5. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). – Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau, 2013. – 501 p.
6. The Commission decision of March 26, 2013 on establishment of the conclusions of the best available methods (BAT) according to the Directive 2010/75/EU of the European parliament and Council for industrial issue for production of cement, lime and a magnesium oxide (2013/163/EU) // *Official Journal of the European Union*. – 2013. – Vol. 56. – 9 April 2013. – L 100. – P. 1–49.
7. Реализация национального пилотного проекта Республики Беларусь «Разработка технологических нормативов и системы производственного контроля выбросов загрязняющих веществ для предприятий цементной промышленности» / под ред. О. А. Белого, В. В. Морозова, Е. Н. Потаповой [и др.]. – Минск: Альтиора – Живые краски, 2014. – 448 с.

## REFERENCES

1. Potapov V. I., Yashina O. N., Borodenok D. O. Overview of the cement industry of the Customs union. *Alitinform*, 2013, no. 3 (30), pp. 14–31 (in Russian).
2. Potapova E. N., Guseva T. V. Development of management systems of the enterprises of the cement industry with regard to the requirements to energy efficiency and environmental performance. *Aktual'nye voprosy innovatsionnoy ekonomiki*, 2013/2014, no. 6 (5), pp. 157–165 (in Russian).
3. Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control. *Official Journal of the European Union*, 1996, vol. 39, 10 October 1996, L 257, pp. 0026–0040.
4. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii i kompleksnye ekologicheskie razresheniya: perspektivy primeneniya v Rossii* [The best available technologies and complex ecological permissions: application prospects in Russia], edited by M. V. Begak. Moscow: YurInfoR-Press, 2010, 220 p (in Russian).
5. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau, 2013, 501 p.
6. The Commission decision of March 26, 2013 on establishment of the conclusions of the best available methods (BAT) according to the Directive 2010/75/EU of the European parliament and Council for industrial issue for production of cement, lime and a magnesium oxide (2013/163/EU). *Official Journal of the European Union*, 2013, vol. 56, 9 April 2013, L 100, pp. 1–49.
7. *Realizatsiya natsional'nogo pilotnogo proekta Respubliki Belarus «Razrabotka tekhnologicheskikh normativov i sistemy proizvodstvennogo kontrolya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv dlya predpriyatiy tsementnoy promyshlennosti»* [Implementation of the national pilot project of the Republic of Belarus «De-

velopment of technological standards and system for production control of emissions of polluting substances for the enterprises of the cement industry»], edited by O. A. Belyy, V. V. Morozov, E. N. Potapova, et al. Minsk: Al'tiora – Zhivye kraski, 2014, 448 p (in Russian).

## **МЕЖФАЗНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ.**

### **Часть 1. Магнезиальные вяжущие вещества**

***Г. И. Бердов, В. Н. Зырянова, Л. В. Ильина, Н. И. Никоненко, В. А. Сухаренко, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)***

**Ключевые слова:** магнезиальные вяжущие вещества, минеральные микронаполнители, механическая прочность, водостойкость, морозостойкость

**Key words:** magnesium binders, mineral microfillers, mechanical strength, water resistance, frost resistance

### **Введение**

Для повышения механической прочности, водо- и морозостойкости, химической стойкости продуктов твердения неорганических вяжущих веществ (цемента, магнезиальных вяжущих) широко практикуется введение в их состав минеральных микронаполнителей [1–4]. Использование дисперсных минеральных добавок позволяет полнее реализовать потенциальные возможности композиционных вяжущих материалов, а также обеспечить сокращение расхода дорогостоящих вяжущих веществ.

Формирование прочной структуры при взаимодействии вяжущих веществ с водой включает две группы процессов, различающихся по своей природе:

гидратообразование – химическое взаимодействие минерального вяжущего вещества с водой, приводящее к появлению новых веществ (гидратов). Само по себе гидратообразование еще не определяет прочность искусственного камня, но создает предпосылки для этого;

структурообразование – формирование прочной структуры искусственного материала, определяющее его механическую прочность.

Скорость гидратообразования зависит от химического сродства взаимодействующих веществ – изменения энергии Гиббса при протекании химических реакций. В результате этих реакций, а также вследствие происходящих в системе капиллярных, поверхностных и электрокинетических явлений изменяются химические потенциалы взаимодействующих веществ. Процесс структурообразования определяется изменением свободной энергии, которое связано с возникновением продуктов взаимодействия и новых поверхностей раздела, а также с уплотнением формирующейся структуры.

С термодинамической точки зрения структурообразование можно описать, используя понятие структурного сродства. Процессы структурообразования и химического взаимодействия оказывают влияние друг на друга, однако характер их изменения во времени различен. Химическое сродство в твердеющей системе с течением времени монотонно убывает, а структурное – непрерывно возрастает до определенного предела, после чего постепенно снижается. Структурообразование не лимитируется завершенностью реакций гидратации вяжущего вещества и может протекать и после того, как они практически прекращаются.

При твердении вяжущих веществ дисперсные минеральные наполнители воздействуют на процессы как гидратообразования, так и структурообразования. Это воздействие может быть достаточно сложным, что объясняется особенностями строения твердых тел. У реальных твердых тел соотношение граней, выходящих на поверхность, зависит не только от строения кристаллической решетки, но и от формы кристалла. Большинство таких тел представляют собой поликристаллы. Кроме того, наличие дефектов строения обуславливает неизбежную энергетическую неоднородность поверхности, что приводит к сложному изменению потенциальной энергии частиц при их движении вдоль поверхности. Поверхность твердых тел может значительно отличаться по химическому составу от его объема за счет образования на ней соединений в результате взаимодействия с окружающей средой (газом и, особенно, жидкостью).