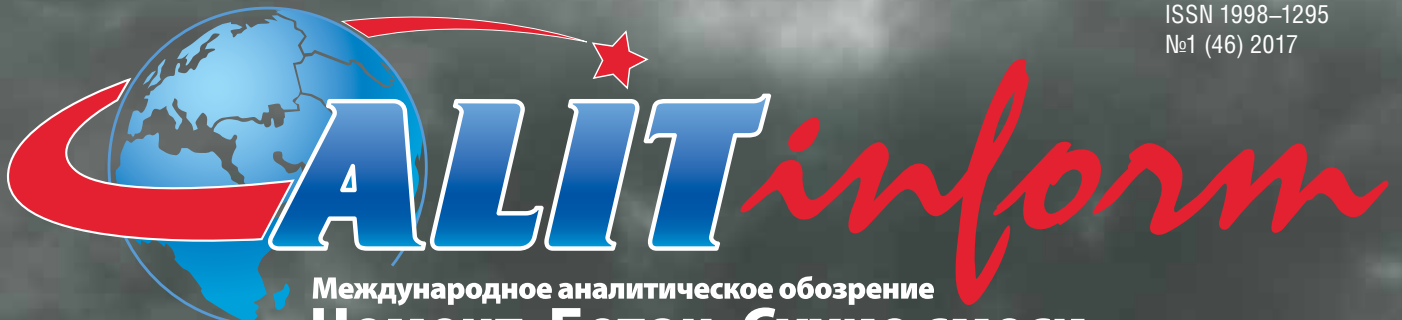


ISSN 1998-1295
№1 (46) 2017



Международное аналитическое обозрение
Цемент. Бетон. Сухие смеси

International analytical review
Cement. Concrete. Dry Mixtures

A background image of a city skyline with various high-rise buildings under a cloudy sky. The buildings are reflected in a body of water in the foreground.

CEMENTING
a bright future

Встреча, которую нельзя пропустить!

Белые Ночи

**V МЕЖДУНАРОДНАЯ
БИЗНЕС-КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ЦЕМЕНТУ**

29–31 мая, 2019

Гранд Отель Европа, Санкт-Петербург, Россия

Организаторы:



Российский
Союз
Строителей



white-nights.info

CEMENT	ЦЕМЕНТ	
Dr. Chouksey, Sh. INDIAN CEMENT INDUSTRY — EVOLUTION, GROWTH AND FUTURE CHALLENGES (PART I)	Д-р Чукси Ш. ИНДИЙСКАЯ ЦЕМЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ — ЭВОЛЮЦИЯ, РОСТ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ЗАДАЧИ (ЧАСТЬ I)	4
Kline, J. CEMENT MANUFACTURER CHANGES IN THE GLOBAL LANDSCAPE	Клайн Дж. ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА В МИРОВОМ МАСШТАБЕ	12
Sivkov S., Potapova, E. REGULATION OF CEMENT PRODUCTION PROCESS TECHNOLOGICAL PARAMETERS BASED ON THE BEST AVAILABLE TECHNIQUES	Сивков С., Потапова Е. НОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА НА ОСНОВЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	22
Dr. Zlatev, M., Grotjohann, P. CEMENT PLANTS MODERNIZATION PROSPECTS IN TERMS OF INNOVATIVE CRUSHING AND GRINDING SOLUTIONS	Златев М., Гротйоханн П. ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДРОБЛЕНИЯ И ПОМОЛА	34
CONCRETE	БЕТОН	
Kong Xiangming, Lu Zichen INTERACTION BETWEEN POLYMER COLLOIDS AND PORTLAND CEMENT	Кун Сянмин, Лу Цзычэн ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ С ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОМ	46
Eckert, A. CONSTRUCTION OF DURABLE ROADS WITH CEMENT CONCRETE PAVEMENT BASED ON THE GERMAN EXPERIENCE	Эккерт А. СТРОИТЕЛЬСТВО ДОЛГОВЕЧНЫХ АВТОДОРОГ С ЦЕМЕНТОБЕТОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОПЫТЕ ФЕДЕРАТИВНОЙ РЕСПУБЛИКИ ГЕРМАНИЯ	56
Nesvetaylo, V. M. METHOD OF IMPROVING SURFACE CONDITION OF PREFABRICATED AND CAST-IN-PLACE REINFORCED CONCRETE PRODUCTS AND STRUCTURES	Несветайло В. М. СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ СБОРНЫХ И МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ	66
GIORNATE ITALIANE DEL CALCESTRUZZO — ITALIAN CONCRETE DAYS, NOVEMBER 10-12, 2016	ДНИ БЕТОНА В ИТАЛИИ. ПЬЯЧЕНЦА, 10–12 НОЯБРЯ 2016 Г.	74
DRY MIXTURES	СУХИЕ СМЕСИ	
Lecomte, J.-P., Milenković, N., Giesecke, A. SILANE AND SILICONE RESIN AS INTEGRAL WATER REPELLENT FOR CEMENT BASED MATERIALS — IMPACT ON CEMENT HYDRATION PROCESSES	Лекомт Ж.-П., Миленкович Н., Гизекке А. СИЛАН-СИЛИКОНОВЫЕ СМОЛЫ В КАЧЕСТВЕ ГИДРОИЗОЛИРУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА В СОСТАВЕ ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ВЛИЯНИЕ НА ГИДРАТАЦИЮ ЦЕМЕНТА	78

Publisher: ALITinform Ltd. Address: Instrumentalnaya street, building 3B, office room 218, St. Petersburg, Russia 197022. For post: 190068, Russia, St. Petersburg, P. O. Box 597
Tel./fax: +7 (812) 380-65-72. Office in Moscow: tel./fax: +7 (495) 580-54-36

Editor-in-chief: Bolshakov, E. L.; project manager: Bolshakova, N. A.; science editor: Gunner, T. V.; editor: Fedunova M. N.; design and layout: Lyubimova I. M.;
literary editor: Kizilo, V. S.; proof reader: Fateeva, V. R.

The opinions, statements and advertising published in "ALITinform" are those of the authors only and are not necessarily those of the editorial staff. No confirmations or endorsements are intended or implied. After reprinting the references are obligatory. Printing: Ad Agency "Chisty List". Print run: April 17, 2017.

Издатель: ООО «АЛИТинформ». Адрес: 197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Инструментальная, 3, лит. Б, офис 218. Почтовый адрес: 190068, Россия, Санкт-Петербург, а/я 597
Тел./факс: +7 (812) 380-65-72. Офис в Москве: тел./факс: +7 (495) 580-54-36

Главный редактор: Большаков Э. Л.; руководитель проекта: Большакова Н. А.; научный редактор: Гюннер Т. В.; редактор: Федунова М. Н.; дизайн и верстка: Любимова И. М.;
литературный редактор: Кизилов В. С.; корректор: Фатеева В. Р.

Редакция журнала «ALITinform» не несет ответственности за содержание рекламных объявлений и достоверность информации в опубликованных статьях, которая целиком возлагается на их авторов. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов. При перепечатке ссылки на издание обязательны. РА «Чистый лист». Подписано в печать 17 апреля 2017 г.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия. Свидетельство ПН № ФС77-31038 от 24 января 2008 г.
Тираж 6 000 экз. Web: www.alitinform.ru; e-mail: info@alitinform.ru



ГК ЧИСТЫЙ МИР

Производство фильтров для систем
аспирации и вентиляции воздуха

- Современное оборудование и материалы
- Любые размеры и типы исполнения
- Учёт требований и пожеланий Заказчиков
- Индивидуальные условия

Высококачественные фильтровальные материалы и элементы для различных стадий производства
Решения для любых условий эксплуатации:

- фильтрация электризующей пыли
- фильтрация абразивной пыли
- фильтрация высокотемпературных газов
- фильтрация тонкой пыли размером частиц до 1мкм



Все типы фильтров для вентиляции и очистки помещений:

- грубая очистка
- тонкая очистка
- абсолютная очистка
- классы фильтрации G2-H14





29 ноября — 1 декабря 2017 г.
Москва, Экспоцентр

VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР-КОНКУРС

**МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И АСПИРАНТОВ,
РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТИ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ,
БЕТОНОВ И СУХИХ СМЕСЕЙ**



Международное аналитическое обозрение
«ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси» приглашает
принять участие в VI Международном семинаре-
конкурсе молодых ученых и аспирантов.





Dr. Chouksey, Sh., Wholetime Director, JK Lakshmi Cement Ltd., President of Cement Manufacturers Association, India

INDIAN CEMENT INDUSTRY — EVOLUTION, GROWTH AND FUTURE CHALLENGES

Д-р Чукси Ш., штатный директор компании JK Lakshmi Cement Ltd., президент Ассоциации производителей цемента, Индия

ИНДИЙСКАЯ ЦЕМЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ — ЭВОЛЮЦИЯ, РОСТ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ЗАДАЧИ

Abstract

Indian cement industry though it is the second largest in the world after Chinese, has global cement majors in commanding positions, and technologically advanced plants; is largely confined to domestic production and consumption. To the outside world, the journey that the industry has travelled in its more than 100 years of history and its achievements are largely unknown. The purpose of this article is to acquaint the international readers having interest in cement and allied businesses, about the cement industry in India in a very simple manner, yet covering all the facts about the industry. Where we are today is a matter of pride for the industry, but on our way to our place in global context we have seen many shades of ups and downs. We have travelled the journey of the industry being under tight control of the government to the extent of a buyer needing a permit to buy a bag of cement to the time where it is freely available in every nook and corner of a country as diverse as India. We have evolved from cement plants with a meagre capacity of a few thousands of tons of cement to world's largest cement kiln at one of the plants and to probably world's largest single location cement plant. Today our plants are amongst the most energy efficient plants and our products meet the global best in terms of specifications and performance. The industry has come a long way and yet has many more miles to go.

Key words: *Indian cement industry, sustainability, technology trends, energy performance and trading, GHG emissions, alternate fuels and raw materials, blended cements, technology roadmap*

Background

Cement industry is one of the core industries of India and occupies an important role in national economy because of its strong linkage to other sectors such as housing, construction, infrastructure and transportation. India entered into the Cement Era in 1914, when the Indian Cement Company Ltd. started manufacturing cement in Porbandar (the state of Gujarat). The growth

Аннотация

Индийская цементная промышленность является второй в мире по величине после китайской и представляет собой технологически развитое производство. Среди индийских производителей цемента есть крупные мировые лидеры. Вместе с тем цементная отрасль Индии ограничивается преимущественно внутренним производством и потреблением. Что касается выхода на международный рынок, то о конкретных достижениях в области международной торговли на протяжении всей столетней истории развития отрасли почти ничего неизвестно. Цель данной статьи — познакомить читателей, интересующихся цементным производством и смежными с ним отраслями, с различными аспектами цементной промышленности Индии. Современные достижения индийской цементной промышленности — это повод для гордости, хотя на пути к ним было немало взлетов и падений. Многие изменилось с тех пор, когда промышленность находилась под жестким контролем правительства и покупателю требовалось разрешение на покупку даже мешка цемента. Сейчас цемент можно свободно приобрести во всех уголках страны. Цементная промышленность Индии прошла путь от цементных заводов с небольшой производительностью в несколько тысяч тонн цемента до создания крупнейшей в мире печи для обжига цемента и открытия, возможно, крупнейшего цементного завода в мире. Сегодня индийские цементные заводы являются одними из самых энергоэффективных, а их продукция соответствует мировым стандартам с точки зрения технических характеристик и производительности.

Ключевые слова: *индийская цементная промышленность, экологичность, тенденции в развитии технологий, энергоэффективность и продажи, парниковые газы, альтернативные виды топлива и сырья, цементы с минеральными добавками, технологическая дорожная карта*

of the industry was slower in the beginning because the industry was under control regime, but after total de-control in 1989 there has been an unprecedented growth in cement production in India. In the last three decades the vibrant Indian cement industry has shown a remarkable eighteen fold growth since 1980, when its installed capacity was only 24 million tonnes, owing to bold liberalization policies initiated by the Government of India. It took nearly 83 years to reach first 100 million tonnes capacity for the industry but for achieving next 100 million tonnes, it took only 11 years and for third 100 million tonnes – less than 4 years due to complete de-control and substantial rise in demand from construction and transportation sector. Today, installed capacity of cement industry in India has reached 425 million tonnes with cement production over 290 million tonnes having about 225 large cement plants, comprising integrated cement plants as well as standalone cement grinding units.

India's cement industry contributing to the growth of construction sector in India, by itself is a prominent part of its economy as it provides employment for more than a million people, directly or indirectly, throughout the country. The construction sector accounts for about 23% of the GDP in terms of construction value and about 14% of the GDP in terms of gross value added. It is estimated that every million metric tonnes (MT) of cement consumed by Indian construction is approx. 5 million man days of employment. Indian cement industry continues being the second largest manufacturer in the world, with about 7% of the annual global cement production today. While the global economic scenario remains challenging with economic growth hovering around 3.4%, Indian economic growth keeps at the level of 7.3%.

Обзор

Производство цемента является одной из основных отраслей промышленности Индии и занимает важное место в национальной экономике, потому что тесно связано с развитием жилищного и промышленного строительства, инфраструктуры и транспорта. Индия вступила в эпоху цемента в 1914 г., когда компания Indian Cement Company Ltd. начала производство цемента в г. Порбандаре (штат Гуджарат). В то время темпы роста были значительно ниже, а промышленность находилась в условиях режима тотального контроля. После полной отмены этого режима в 1989 г. в Индии произошло беспрецедентное увеличение производства цемента. За последние три десятилетия динамично развивающаяся индийская цементная промышленность показала впечатляющий рост. С 1980 года, когда в результате смелой политики либерализации, инициированной правительством Индии, объем производимой продукции составлял всего 24 млн т, производство цемента увеличилось в восемнадцать раз. Потребовалось почти 83 года, чтобы достичь объемов производства в 100 млн т. При этом для достижения следующих 100 млн т прошло всего 11 лет, а до третьих 100 млн т — менее четырех лет. Такой результат стал возможен благодаря полной отмене режима контроля и значительному увеличению спроса со стороны строительного и транспортного секторов. Сегодня установленная мощность цементной промышленности Индии достигла 425 млн т с объемом производства цемента более 290 млн т. В стране действуют около 225 крупных цементных заводов, включая заводы с законченным циклом производства, а также автономные установки для помола цемента.

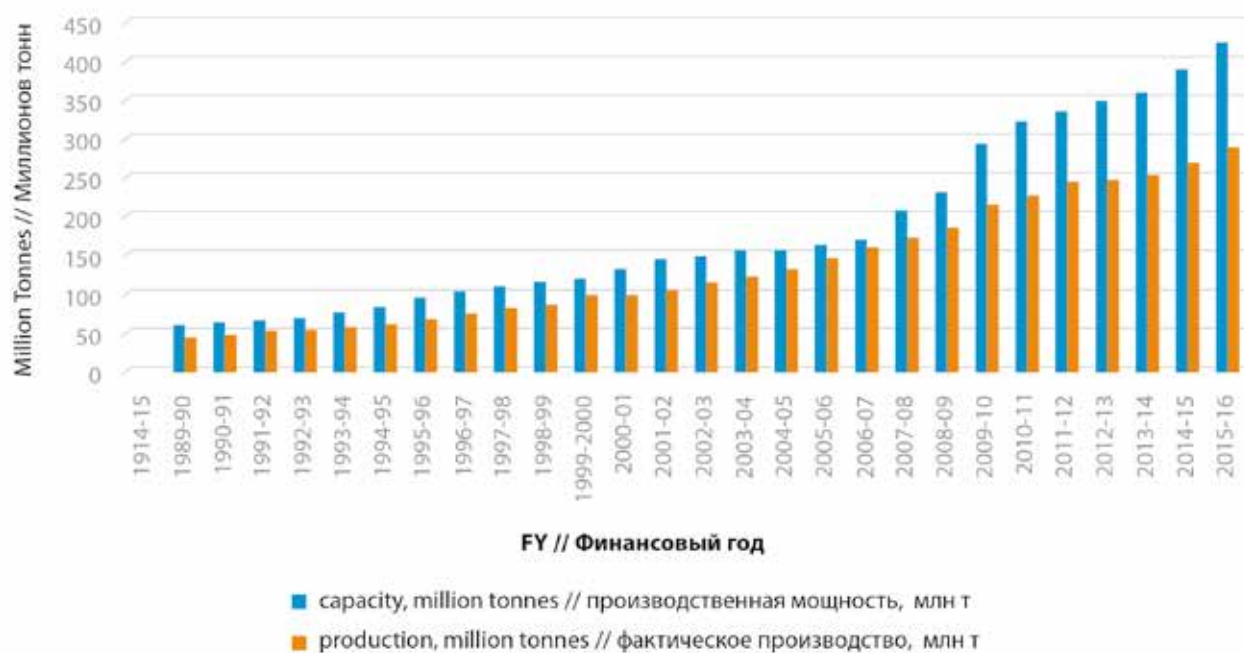


Fig. 1. Evolution, Development and Growth of Indian Cement Industry (1914 to 2015)

Рис. 1. Развитие индийской цементной промышленности (с 1914 по 2015)

A graphical representation of evolution, development and growth of Indian cement industry is as shown below in Fig. 1.

Advances in Manufacturing Technology

The Indian cement industry has always been at the forefront in contemporary technology adoption. This is proved by the achievements in physical indicators such as energy consumption, kiln productivity, operating hours per year, stack emissions, renewable energy use, etc. Technology developments that are being harnessed include installation of multi stream preheaters and calciners with clinkering capacities exceeding 10,000–12,000 tpd, adoption of energy efficient coolers, modernization in finish grinding systems, higher use of automation, adoption of waste heat recovery systems, development of newer types of cement with reduced carbon footprints, and so on. The technological advances in cement manufacture have been accomplished over the past two decades in the following major areas resulting in higher capacity production units, better process control, better quality control, improved energy efficiency and better pollution control:

- Improved mining practices through remote sensing, computer aided deposit evaluation, in-pit crushing through mobile/semi-mobile crushers, application;
- Improved mechanical material conveyors like pipe conveyors, high capacity bucket elevators instead of pneumatic conveyors;
- High efficiency size reduction equipment such as impact crushers, vertical roller mills, roller presses, high efficiency separators etc.;
- Improved blending/homogenizing silos such as controlled flow (CF) silos;
- Improved pyro-processing systems by means of the latest generation precalciners, 5–6 stage low pressure preheaters, high efficiency multi-channel burners, high efficiency coolers etc.;
- High efficiency pollution control equipment such as electro static separators with pulse energisation, bag filters incorporating glass fabric etc.;
- Improved refractory practices such as mag-chrome bricks, magnesia-spinelide bricks, periclase spinel bricks, high strength insulating bricks, alumina-zircon refractory bricks, coating repellent aluminum-zirconium-silicate bricks, etc.;
- Improved instrumentation and automation for quality control and process control through programmable-logic-controllers (PLC), distributed control systems, expert kiln and mill control systems, on-line bulk analyzers, on-line quality control through industrial robots etc.;

Индийская цементная промышленность, обеспечивающая рост строительного сектора Индии, является важной частью ее экономики, поскольку предоставляет рабочие места для более миллиона человек по всей стране. Сегодня строительная отрасль составляет около 23% ВВП в стоимостном выражении и около 14% ВВП по валовой добавленной стоимости. Согласно оценкам, в Индии на каждый миллион тонн цемента, потребляемого для строительства, приходится примерно 5 млн человеко-дней. Индийская цементная промышленность продолжает оставаться второй в мире по величине производства, что составляет около 7% от ежегодного производства цемента во всем мире: когда экономический рост в мире в среднем составлял около 3,4%, экономический рост в Индии сохранился на уровне 7,3%.

На рис. 1 представлена динамика развития индийской цементной промышленности.

Достижения в технологии производства

Индийская цементная промышленность всегда была лидером в сфере внедрения современных технологий. Это подтверждают такие показатели, как энергопотребление, производительность печей, длительность работы в течение года, утилизация отходящих газов, использование возобновляемых источников энергии и т. д. В настоящее время применяются следующие современные технологии: установка многоканальных горелок и обжиговых печей с производительностью клинкера более 10 000–12 000 т/сут, внедрение энергосберегающих колосниковых холодильников, модернизация систем тонкого помола, автоматизация производственного процесса, внедрение систем рекуперации отработанного тепла, производство новых видов цемента с сокращением выбросов углекислого газа и т. д. Результатом внедрения новых технологических решений, активно применяющихся при производстве цемента в последние два десятилетия, стало повышение производительности, более эффективное управление производственным процессом, улучшение контроля качества, повышение энергоэффективности и контроль за вредными выбросами. Среди положительных примеров:

- Оптимизация методов добычи сырьевых материалов: установка дистанционных датчиков, автоматизированный мониторинг месторождений и дробление в карьерах при помощи мобильных/полумобильных дробилок;
- Модернизация конвейеров подачи материала, таких как трубчатые конвейеры, высокопроизводительные ковшовые элеваторы вместо пневмотрубопроводов;
- Применение высокопроизводительного оборудования для помола, такого как ударные дробилки, вертикальные роликовые мельницы, роликовые прессы, мощные сепараторы и т.д.;

- Product diversification/modification (production of blended cements).

The technological advances in cement manufacture in India over the past few decades are shown in the Table 1.

Cement manufacture and energy management

Cement manufacture is energy intensive process with energy costs of up to 40–50% of its production costs. Global and national focus on energy conservation has led to the adoption of modern technology that is continuously improving the production process. This has led to considerable savings in energy by a large number of plants with incorporation of modern technologies in grinding, pyro-processing, cooling, material handling and pollution control systems. Sophisticated instrumentation and computerized control systems have led to better efficiency and economy. More than 99% of the installed capacity in India is based on dry process technology. The estimated

- Модернизация смесительных силосных емкостей, таких как силосы с контролируемым потоком;
- Оптимизация теплообменных систем при помощи использования декарбонизаторов последнего поколения, 5–6 ступенчатых теплообменников низкого давления, высокоэффективных многоканальных горелок и охладителей и т.д.;
- Применение мощного оборудования для контроля вредных выбросов: электростатические сепараторы с импульсным питанием, рукавные фильтры из стеклоткани и т.д.;
- Использование современных огнеупорных материалов, таких как магнезио-хромовый кирпич, магнезиально-шпинелидный кирпич, периклазошпинельный кирпич, высокопрочный изолирующий кирпич, огнеупорный кирпич из оксида алюминия и циркона, отталкивающий алюминий-цирконий-силикатный кирпич и т.д.;

Table 1. Technology Trends in Indian Cement Industry

Таблица 1. Тенденции развития технологий в индийской цементной промышленности

Before the 1960s // До 1960-х годов	The 1970s // 1970-е годы	The 1980s // 1980-е годы	The 1990s // 1990-е годы	The 2000s // 2000-е годы
<ul style="list-style-type: none"> • Wet process (300–600 tpd) // Мокрый способ (300–600 т/сут) • Semi-dry process (Lepol grate 600 tpd) // Полусухой способ (Решетка печи Леполя 600 т/сут) • Introduction of Dry process plants (2-stage Preheater, 600 tpd) // Внедрение установок с сухим способом производства (двухступенч. теплообменник, 600 т/сут) • Ball mills for material grinding // Шаровые мельницы для помола материалов • Pneumatic controls // Пневмоавтоматика 	<ul style="list-style-type: none"> • 4-stage dry suspension preheater kilns (1,200 tpd) // 4-ступенч. запечные циклонные теплообменники (1200 т/сут) • Ball mills for material grinding // Шаровые мельницы для помола материалов • Hard wired logic controls // Проводные логические контроллеры 	<ul style="list-style-type: none"> • Precalciner kilns (3,000 tpd and more) // Декарбонизаторы (мощностью 3000 т/сут и более) • Vertical roller mills for raw material/coal grinding // Вертикальные роликовые мельницы для помола сырья/угля • Wet to dry process conversion // Переход от мокрого к сухому способу производства • 5-stage suspension preheater // 5-ступенч. запечный циклонный теплообменник • Improved ball mill internals (liners & diaphragm) // Модернизированные внутренние элементы шаровых мельниц (вкладыши и диафрагмы) • Multi-channel burners // Многоканальные горелки • Programmable logic controllers (PLC) // Программируемые логические контроллеры (ПЛК) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kiln capacity of 6,000–7,500 tpd // Печи для обжига мощностью 6000–7500 т/сут • Roller press // Роликовый пресс • High efficiency separator // Высокоэффективный сепаратор • Low pressure 5–6 stage preheaters // 5–6-ступенч. теплообменники низкого давления • Expert control systems // Системы экспертного контроля • High efficiency coolers // Высокоэффективные холодильники • High speed bucket elevators instead of pneumatic conveying // Высокоскоростные ковшовые элеваторы вместо пневмотрубопроводов • High efficiency fans, variable speed drives // Высокоэффективные вентиляторы с регулируемым приводом • Distributed digital controls (DDC) // Система цифрового управления 	<ul style="list-style-type: none"> • Kiln capacities up to 12,000 tpd (in pipeline) // Печи для обжига мощностью до 12 000 т/сут • Vertical roller mills for cement grinding // Вертикальные роликовые мельницы для помола цемента • Surface miners/ripper dozer // Карьерные комбайны / бульдозеры-рыхлители • Bulk analyzers // Объемные анализаторы • Long distance belt conveyors // Ленточные транспортеры большой протяженности • Alternate fuels // Альтернативные виды топлива • Multi-channel multi-fuel burners // Многоканальные горелки для разных видов топлива • Static grate coolers // Колосниковые холодильники

weighted average specific energy consumption of the Indian cement industry in 2014–2015 was 721 kcal/kg clinker for thermal energy and 76 kWh/t cement for electrical energy. Currently the best specific thermal and electrical energy consumption reported by the Indian cement plants is 678 kcal/kg clinker and 71 kWh/t cement, which is comparable with the best values reported worldwide. It must be noted that these achievements have come against the back drop of non-availability of high grade coal for cement industry in India as the domestically available high grade coal is mainly reserved for coal fired thermal power plants, steel plants, and fertilizer plants. Indian cement industry uses coal with low calorific value and high ash contents.

It is worth mentioning here that the Indian cement sector is one of the most energy efficient worldwide, mainly due to modern technology being implemented in the plants as well as because of the efficient daily plant performance monitoring with a focus on energy savings and CO₂ emissions reduction. The trend of thermal and electrical energy consumption in Indian cement industry is shown in Fig. 2 and 3.

The present scenario of economic liberalization, environmental concerns and technological promotion have compelled the industry to constantly re-examine their manufacturing practices, business insights, management methods and production plans etc. Introduction of renewable energy resources such as wind mills & solar plants are among them.

Presently around 6–8 plants have gone for wind power plants with rated capacity of around 256 MW. Replication potential exists for other plants for around 30% renewable energy substitutions. Some cement plants have also installed solar plants with overall power generation of around 16.5 MW. All this will

- Модернизация контрольно-измерительных приборов и автоматики для контроля качества и управления технологическими процессами с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК), систем распределенного управления, экспертных систем управления печами и мельницами, онлайн-анализаторов, оперативного контроля качества с использованием промышленных роботов и т.д.;
- Модификация продукции (производство цементов с минеральными добавками).

Технологические достижения в производстве цемента в Индии за последние несколько десятилетий показаны в табл. 1.

Производство цемента и контроль энергопотребления

Производство цемента — энергоемкий процесс: затраты на энергию составляют 40–50% от его себестоимости. Необходимость экономии энергии, актуальная как для страны, так и для всего мира, требует современных технологий и постоянного совершенствования производственного процесса. Благодаря появлению большого количества заводов, применяющих современные технологии при помол, тепловой обработке и охлаждении материалов и в системах контроля выбросов удалось добиться снижения потребления энергии. Сложное оборудование и автоматизированные системы управления способствовали повышению энергоэффективности и экономичности производства. Более 99% установленных мощностей индийской цементной промышленности основано на технологии сухого способа производства. Установленное средневзвешенное

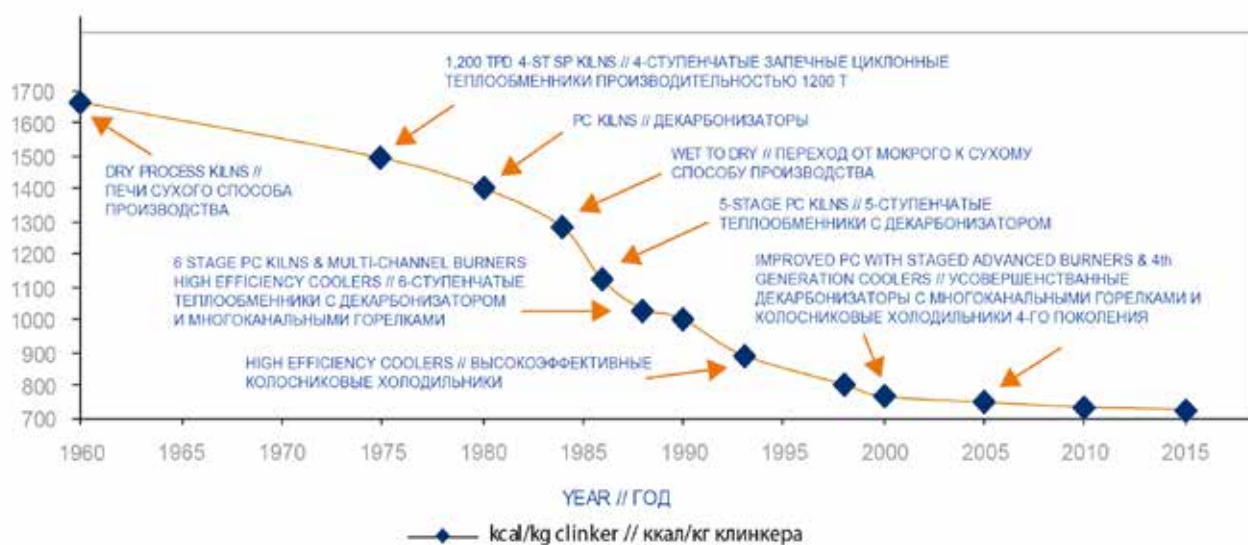


Fig. 2. Trend of Thermal Energy Consumption in Indian Cement Industry

Рис. 2. Тенденции потребления тепловой энергии в индийской цементной промышленности

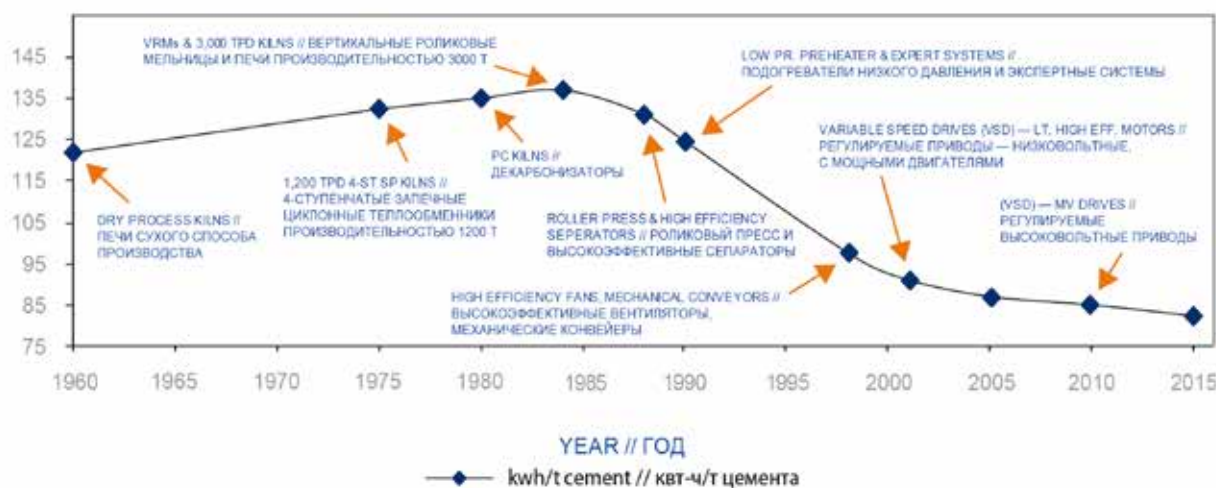


Fig. 3. Trend of Electrical Energy Consumption in Indian Cement Industry

Рис. 3. Тенденция потребления электроэнергии в индийской цементной промышленности

contribute to achieving India's target of 175 GW of energy through renewable energy route.

Apart from technology up-gradation, Indian cement industry has also made substantial progress in insulating itself from the risks of grid power shortage. Power provided by the national electric grid is unreliable due to frequent power cuts. Besides, it is more expensive than captive generation. That's why almost all cement plants have set up thermal captive generation capacities to overcome the power problem. Captive power generation in Indian cement industry has increased substantially from just 118 MW in 1982 to present level of around 5,000 MW, which resulted in production of ~ 60 % of total cement using captive power. Further, industry is striving hard to reduce the energy burden of the country as a whole through cogeneration of power through waste heat recovery systems. The present installed capacity of WHR system is about 200 MW, while the estimated potential is over 900 MW power from waste heat of pre-heater and cooler gases.

Thanks to Clean India drive campaign currently being fulfilled in the country, cement kilns can contribute substantially in treating large amounts of hazardous and non-hazardous wastes in safe and environmentally sound manner. Although some individual cement plants have achieved up to 11 % thermal substitution rate (TSR), overall % TSR is abysmally poor being < 1%. The major challenges remain policy/regulatory norms which need further attention, like polluter to pay concept, availability of quality processed waste.

References // Литература

1. Technology Roadmap-Low Carbon Technology for Indian Cement Industry, World Business Council for Sustainable Development, WBCSD, 2012.

значение энергопотребления в 2014–2015 гг. составило 721 ккал/кг тепловой энергии для производства клинкера и 76 кВтч/т электроэнергии — для цемента. В настоящее время удельное потребление тепловой и электрической энергии на индийских цементных заводах составляет до 678 ккал/кг клинкера и до 71 кВтч/т цемента, что сопоставимо с лучшими показателями по всему миру. Следует отметить, что эти достижения стали ответом на отсутствие высокосортного угля для цементной промышленности Индии, поскольку уголь высокого качества, предназначенный для использования на внутреннем рынке, в основном зарезервирован для тепловых электростанций, работающих на угле, металлургических заводов и заводов по производству удобрений. Для производства цемента в Индии используется уголь с низкой теплотворной способностью и высоким содержанием золы.

Здесь стоит упомянуть, что индийская цементная промышленность является одной из самых энергоэффективных в мире именно за счет внедрения современных технологий, а также благодаря ежедневному мониторингу работы заводов, при котором особое внимание уделяется экономии энергии и сокращению выбросов CO₂. Тенденции потребления тепловой и электрической энергии в индийской цементной промышленности показаны на рис. 2 и 3.

Существующие на сегодняшний день либерализация экономики, экологические проблемы и развитие технологий заставляют цементную промышленность постоянно совершенствовать процесс производства, ведение бизнеса, методы управления, производственные планы и т.д. Кроме того, активно применяются возобновляемые источники энергии, такие как ветряные и солнечные электростанции.

В настоящее время около 6–8 заводов используют ветроэнергетические установки с номинальной

2. *Fonta, P., Sar, E., Twigg, C., Mishra, A.K., Chaturvedi, S.K., Pahuja, A., Trudeau, N., Ananth, P.V.*; “GHG Reduction Potentials in the Indian Cement Industry – A Way Forward”, 13th NCB International Seminar on Cement and Building Materials, 19–22 November 2013 New Delhi.
3. Report of working group on Cement Industry for XII five year plan (2012–2017), department of industrial policy and promotion, ministry of commerce and industry, Dec 2011.
4. Perform, Achieve and Trade (PAT) data available at Bureau of Energy Efficiency (BEE), www.beeindia.gov.in
5. *Chaturvedi, S.K., Yadav, D., Vanguri, S., Chatterjee, V.P., Pahuja, A., Sahu, A.K.*; “Investigations on Composite Cement Containing Indian Fly Ash and Granulated Blast Furnace Slag” 14th NCB International Seminar on Cement and Building Materials, 01–04 December 2015, New Delhi.
6. *Ali, M.M., Pahuja, A., Agarwal, S.K.*; “Potentials of Copper Slag Utilization in the Manufacture of Ordinary Portland Cement”, *Advances in Cement Research* — March 2013.
7. *Chaturvedi, S.K., Yadav, D., Vanguri, S., Harsh, S., Pahuja, A.*; “Strength development in the composite cement prepared using Indian fly ash and GBFS” Symposium on blended cements for sustainable development, 24 January, Hyderabad.
8. *Ali, M.M., Gupta, R.S., Pahuja, A.*; “Geo-polymeric Cements and their Salient Characteristics”, *Civil Engineering and Construction Review* — January 2013.
9. *Gupta, R.S., Vanguri, S., Lizu, V., Chaturvedi, S.K., Pahuja, A.*; “Studies on Development of Geopolymer Based Cements by Alkali Activation of Fly Ash and Granulated Blast Furnace Slag” 14th NCB International Seminar on Cement and Building Materials, 01–04 December 2015, New Delhi.

To be continued in issue No 2 (47), 2017

мощностью около 256 МВт. Такие установки могут применяться и другими заводами. При этом до 30% энергии можно заменять на энергию возобновляемых источников. На некоторых цементных заводах также установлены солнечные электростанции с общим объемом выработки энергии около 16,5 МВт. Главная цель такой работы — получение 175 ГВт энергии с помощью возобновляемых источников энергии.

Таким образом, индийская цементная промышленность добилась не только модернизации технологий, но и решила проблему дефицита электроэнергии. Питание от государственных сетей электроснабжения ненадежно из-за частых отключений. Кроме того, это дороже, чем производство электроэнергии для собственных нужд, поэтому почти все цементные заводы создали внутренние теплогенерирующие мощности, позволяющие в значительной степени решить проблему доступности энергоресурсов. Производство электроэнергии для собственных нужд в индийской цементной промышленности значительно возросло с 118 МВт в 1982 г. до нынешнего уровня около 5000 МВт. В результате около 60% всего объема цемента производится с использованием энергии, генерируемой заводами при помощи установок внутреннего использования. Кроме того, промышленность прилагает все усилия для снижения энергетического бремени страны в целом за счет комбинированного производства тепловой и электрической энергии с помощью систем рекуперации отработанного тепла. Текущая установленная мощность одной такой системы составляет около 200 МВт, что позволяет вырабатывать более 900 МВт энергии через отработанное тепло теплообменников и охладителей.

Благодаря успешно реализуемой экологической кампании «Чистая Индия» (Clean India) с помощью экологически чистых методов в цементных печах возможно утилизировать большое количество опасных и неопасных отходов. Хотя коэффициент теплового замещения (TSR) на отдельных цементных заводах достигает 11%, в целом доля TSR очень низкая и составляет < 1%. Главными задачами для индийской цементной промышленности остаются разработка законодательных норм, таких как концепция «виновник загрязнения платит» и наличие качественно обработанных отходов.

Продолжение следует в № 2 (47), 2017

follow us



www.facebook.com/alitinform



ЗАЩИТНЫЕ



РЕМОНТНЫЕ



ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ



КОНСТРУКЦИОННЫЕ



МОНТАЖНЫЕ

Мы помогли строить:

Третье транспортное кольцо. Москва • Ушаковская развязка. Санкт-Петербург • Здание Сената и Синода. Санкт-Петербург • Ладужский вокзал. Санкт-Петербург • Московская кольцевая автодорога • Екатерининский дворец. Пушкин • Фонтанная группа у Финляндского вокзала • Кольцевая автодорога. Санкт-Петербург • Меншиковский дворец. Ораниенбаум • Мост через Кольский залив. Мурманск • Петербургский метрополитен • 1-й железобетонный мост в России через р. Охта и др.



Заказ смесей на сайте: www.alitmix.ru



Возрождая традиции



Kline, J. Principal of Kline Consulting, LLC, PhD in Chemical Engineering, USA

CEMENT MANUFACTURER CHANGES IN THE GLOBAL LANDSCAPE

Клайн Дж., глава компании Kline Consulting, LLC, д-р наук, химик-технолог, США

ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА В МИРОВОМ МАСШТАБЕ

Abstract

The presentation will look at the major trends that have been shaping the global cement industry over the past several decades: the decline of the overall markets in the developed countries as well as the rise of local cement powerhouses in developing countries. Besides, the article analyzes current tendencies in the Chinese industry and their possible influence on the future situation. General conclusion of the investigation is that the forecasts of the future industry structure will be based on these trends.

Key words: cement, industry structure, sustainability, trends, industry drivers

The Cement Industry Today

The cement industry has seen incredible growth over the past 150 years. It has become the building material of choice around the world. It has been said that concrete is the second most widely used commodity in the world. Only water is used more. There are no hard statistics on the global use of concrete; however several entities track the global production and consumption of cement.

Cement consumption has been quoted recently at over 4 billion tons per year. If we assume that concrete is less than 25% cement by weight (most ready-mix concrete is closer to 15% cement), then we can see that annual concrete consumption is over 15 billion tons per year. There are good reasons for this as concrete is relatively inexpensive, has low energy intensity, is very flexible in use and has widely available raw materials.

The industry has been growing steadily as the nations of the world build out their infrastructure. We see what appears to be a natural progression as a country matures. In early developmental stages the cement consumption per capita is relatively low. The per capita consumption then increases gradually as the national infrastructure is built out. Then it slows again as the infrastructure is largely in place and the consumption turns to rebuilding as opposed to building. In this way the per capita consumption of a country is interesting to consider.

Аннотация

В статье представлены основные тенденции развития мировой цементной промышленности за последние десятилетия: общее падение рынков развитых стран, а также рост и усиление местных производителей цемента в развивающихся странах. Кроме того, проведен анализ текущей ситуации в китайской цементной промышленности. На основе исследования этих тенденций возможно сделать прогноз относительно дальнейшего развития отрасли.

Ключевые слова: цемент, структура отрасли, экологически безопасное устойчивое развитие, тенденции, факторы развития отрасли

Современное состояние цементной промышленности

Последние 150 лет цементная промышленность развивалась невероятными темпами. Во всем мире цемент используется в качестве основного материала для строительства и является вторым по востребованности товаром после воды. Точной статистики мирового использования цемента не существует, однако некоторые предприятия отслеживают глобальные показатели его общего производства и потребления.

По последним данным, потребление цемента в мире оценивается более чем в 4 млрд тонн в год. Если исходить из того, что масса бетона на четверть меньше массы цемента (а для большинства бетонных смесей это соотношение составляет 15%), то можно увидеть, что ежегодное потребление бетона превышает 15 млрд т в год. Это объясняется тем, что бетон — относительно недорогой, универсальный в использовании материал, получаемый с помощью низкоэнергетических технологий и легкодоступного сырья.

Отрасль стабильно развивается по мере расширения инфраструктуры в разных странах по всему миру. По мере их экономического развития наблюдается естественный рост цементной отрасли. В развивающихся странах потребление цемента (в расчете на душу населения) относительно низкое.

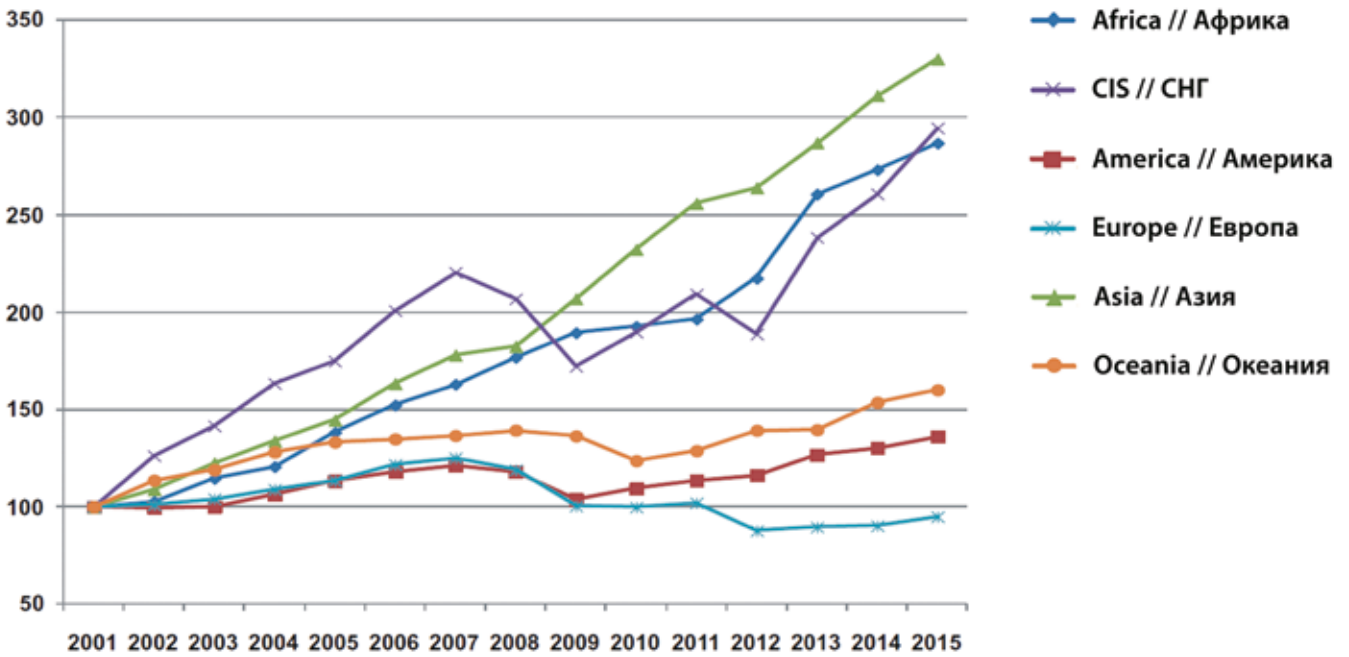


Fig. 1. Growth of cement by global region (Cembureau) — Evolution 2011–2015 [1]

Рис. 1. Рост мирового производства цемента по регионам. 2001–2015 [1]

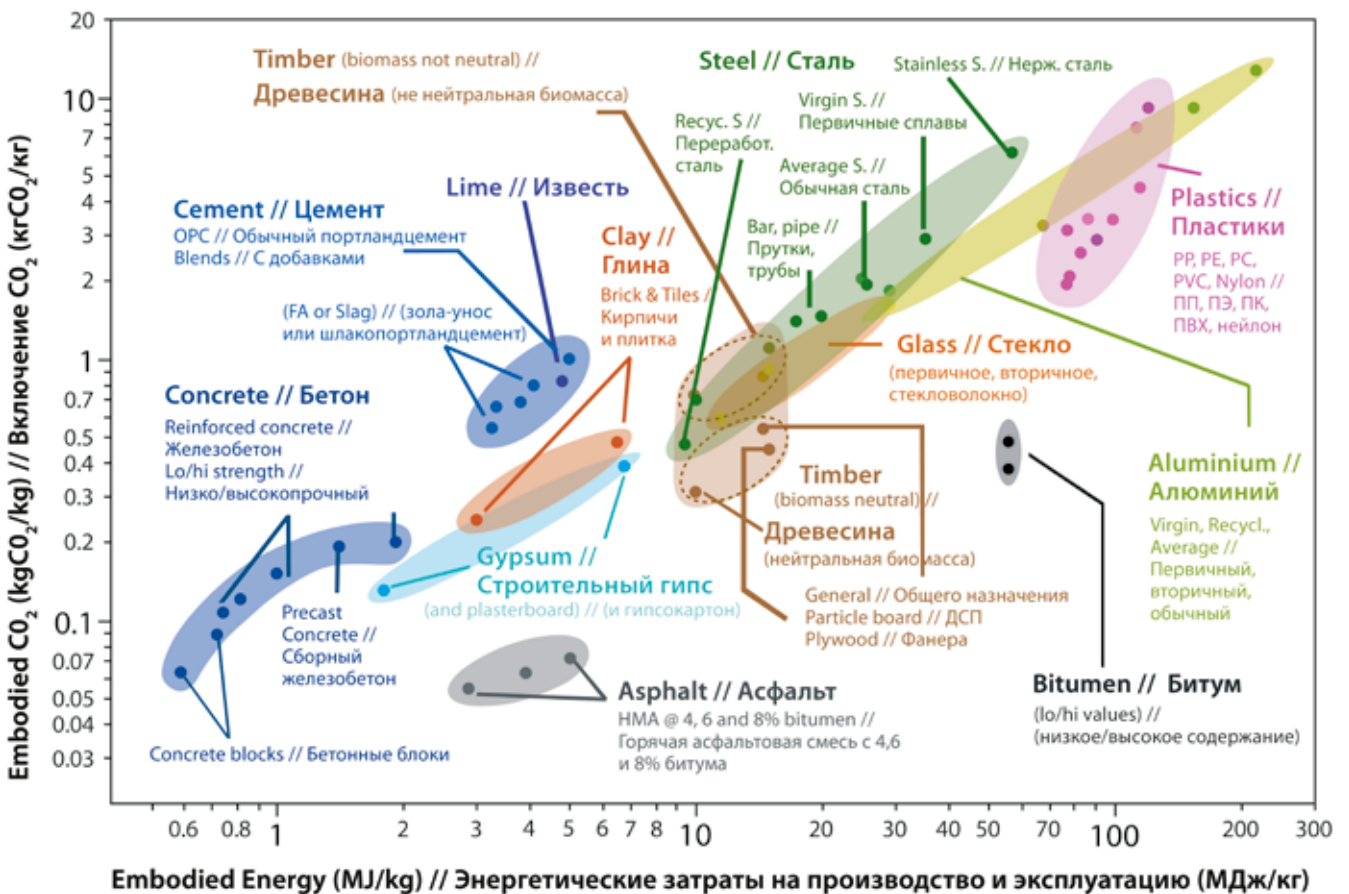


Fig. 2. Energy intensity of Cement and Concrete compared to other materials (Kline & Barcelo) [2]

Рис. 2. Энергоемкость производства цемента и бетона по сравнению с другими материалами [2]

Another factor in cement consumption is population growth. A growing population requires additional living space including houses, schools, local stores, and eventually industry. Based on the above analysis we can predict that the countries with the most significant potential growth in cement consumption are countries that are beginning to build-out their infrastructure and have a growing population and GDP. Conversely, countries that are completing their infrastructure build-out will see a decline in per capita cement consumption in the future. The most notable candidate here would be China.

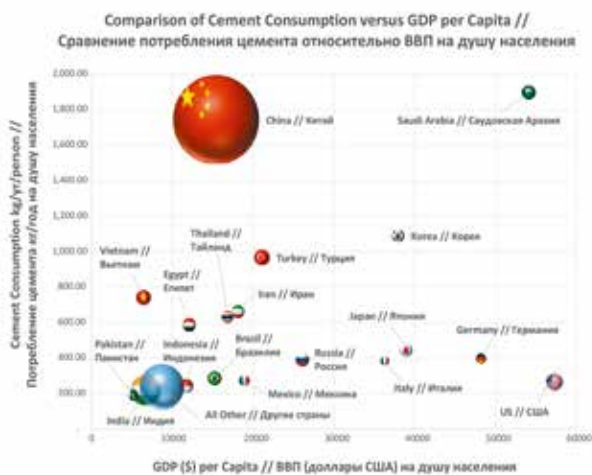


Fig. 3. Cement consumption per capita plotted against GDP per capita (Kline) [3–5]

Рис. 3. Сравнение потребления цемента относительно ВВП на душу населения [3–5]

Changes in the Manufacturing Landscape

The large global cement manufacturers used to dominate the world stage. Cement giants such as Lafarge, Holcim, Heidelberg and Cemex used to be world leaders and still hold a large portion of the global market. However, their share has been decreasing as more and more local players enter that global market. I define a global player as someone who is operating on most of the continents with no country being a majority of their business.

For many years the growth model for these global companies was to expand their businesses in new and developing markets. Expansion was mostly fueled by acquisition with some new capacity installations. This stretched their resources and increased their overheads. Development funds dried up when the developed countries that made up their base had economic slumps. Home markets were partially protected through vertical integration into aggregates and concrete businesses.

Large local players usually have a home base country with a significant local presence that helps fund outward expansion. We now see many of these players extending beyond their home bases. Their cash reserves are buoyed by their home base businesses which are from developing countries with robust growth. Some examples are:

Увеличение показателя потребления происходит постепенно, по мере выстраивания национальной инфраструктуры. Затем рост потребления снова замедляется, что объясняется развитой инфраструктурой и необходимостью реконструкции имеющегося оборудования. С этой точки зрения интересно сравнить потребление цемента на душу населения в разных странах.

Еще один фактор, влияющий на потребление цемента, — прирост населения, при котором возникает необходимость расширения жизненного пространства, включая дома, магазины и в конечном итоге промышленные площади. Как показано на рис. 3, наиболее значительный рост потребления цемента будет наблюдаться в тех странах, которые начинают развивать инфраструктуру и имеют прирост населения и ВВП. В то же время в странах, завершающих строительство своей инфраструктуры, в будущем будет наблюдаться снижение потребления цемента на душу населения. Наиболее важной из этих стран является Китай.

Изменения на мировой карте производителей цемента

Крупные мировые производители цемента привыкли доминировать на мировом рынке. Такие гиганты, как Lafarge, Holcim, Heidelberg и Cemex, являясь мировыми лидерами, все еще удерживают большую часть мирового рынка. Однако с приходом на рынок местных игроков доля гигантов заметно снижается. При этом под ведущим мировым производителем понимается компания, осуществляющая свою деятельность на всех континентах, не выделяя какую-либо страну в качестве основной для своего бизнеса.

На протяжении многих лет такие мировые компании росли в основном за счет расширения деятельности на новых и развивающихся рынках. В большей степени такое расширение стало результатом создания новых производственных мощностей, что заставило производителей вести жесткую экономию средств и увеличило непроизводительные расходы. Когда в развитых странах, являющихся основными донорами фондов развития, случился экономический кризис, эти фонды иссякли. Локальные рынки были частично застрахованы от кризиса благодаря вертикальной интеграции индустрии заполнителей и бетонной отрасли.

Ведущие местные производители обычно имеют страну базирования и занимают значительную долю на рынке этой страны. Это помогает им завоевывать внешние рынки. Сейчас можно наблюдать большое количество таких игроков, выходящих за пределы своих домашних рынков. Их финансовые резервы обеспечиваются производственным предприятием, работающим в домашнем регионе и поставляющим продукцию в развивающиеся страны с устойчивым экономическим ростом. Среди таких производителей:

- Votorantim – Brazil
- Ultratech – India
- Eurocem – Russia
- Dangote – Nigeria

This model appears to work well for these new entrants on the global stage. Even though the large global players still dominate the world stage these large local players are expanding more rapidly at present. The name of the game is to fuel external growth from your base country business before the base country falls into an economic slump. Played correctly the external business starts to provide additional development income before the base country economic slump begins.

The new large local players appear to run on a slimmer organization, carefully selecting growth patterns that keep their overheads low. It is too early to tell if this is just a question of where they stand on the growth curve or a new trend in the industry.

The exception to the above models appears to be China. Here tremendous internal growth of the country has led to the development of several very large local players. However, intense competition between these string players has kept cement prices and profits low. The inability to raise development funds may be a factor that inhibits their expansion outside of China at the moment.

Cement has rather a low value per unit weight compared to most other commodities. This helps to protect local markets as the cost to transport cement, especially by land, quickly outweighs the cost to produce the cement locally. Despite this fact, the international trade in cement has grown over the years. Although only around 2.5% of global production, this international trade has helped offset imbalances in supply and demand in some markets.

As yet, few plants have been built specifically for exporting cement from one country to another. This could change however, especially if carbon taxes are unequally assigned by different countries. Importation of cement that has a lower carbon tax into a jurisdiction with a higher carbon tax has been termed “leakage”. The issue of leakage has been widely discussed in the countries that have implemented carbon taxes. Exactly how the issue of leakage will be resolved on a world scale remains to be seen. However, uneven application of carbon taxes would lead to an increase in international cement trade.

Cement Technology Drivers

What have been the drivers of cement technology? There have been three main drivers: Energy Efficiency, Economies of Scale, and more recently, Sustainability.

World energy costs started increasing dramatically in the 1970s. This started a push towards more energy efficient cement plants. Long wet and long dry kilns started to be phased out to make way for the more

- Votorantim – Бразилия
- Ultratech – Индия
- Евроцемент групп – Россия
- Dangote – Нигерия

Эти новые игроки мирового рынка успешно применяют данную модель для своего бизнеса. И хотя мировые гиганты все еще доминируют, в настоящий момент более высокие темпы роста показывают крупные местные производители. Главная стратегическая цель — обеспечить рост на внешнем рынке за счет локального производства до того, как страна окажется в экономическом кризисе. При правильном подходе внешний бизнес начинает приносить дополнительные доходы от своего развития до того, как страна базирования войдет в период экономического кризиса.

Новые крупные местные производители более гибко организуют свою работу, тщательно отбирая бизнес-модели с низким уровнем издержек. На сегодняшний день рано утверждать, является ли их успех частным примером роста, или это новая тенденция для всей отрасли.

Исключением для всех описанных выше моделей является ситуация в цементной отрасли Китая. Здесь в результате стремительного внутреннего роста появилось несколько очень крупных местных производителей. Однако из-за острой конкуренции между ними цены на цемент остаются на низком уровне, и, как следствие, прибыль этих компаний также остается минимальной. Таким образом, в настоящий момент невозможность пополнения фондов развития может являться фактором, замедляющим темпы роста производства китайских предприятий за пределами страны.

В сравнении с большинством других потребительских товаров цемент имеет довольно низкую стоимость за единицу массы. Это позволяет гарантировать развитие местных рынков, поскольку стоимость транспортировки цемента, особенно автомобильным транспортом, превышает затраты на собственное производство. Несмотря на это международный рынок цемента в последние годы быстро развивается. Хотя на сектор международной торговли приходится лишь около 2,5% мирового производства цемента, этого достаточно, чтобы сбалансировать поставки и удовлетворить потребности некоторых рынков.

На сегодняшний день лишь несколько заводов было построено специально для экспорта цемента из одной страны в другую. Однако эта ситуация может измениться, особенно если налог на выбросы углекислого газа в разных странах будет отличаться. Импорт цемента из страны с более низкой ставкой налога в страну с более высокой ставкой был назван «утечкой цемента». Вопрос утечки широко обсуждался странами, устанавливающими налоги на выбросы CO₂. Тем не менее решение проблемы в

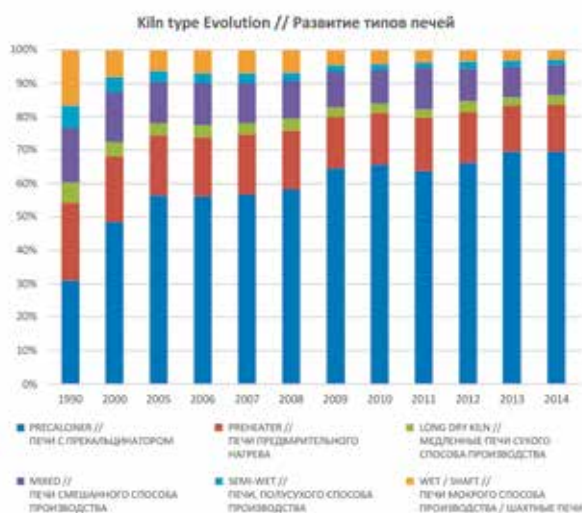


Fig. 4. Evolution of Kiln Type 1990 – 2014 (data extracted from GNR database) [6]

Рис. 4. Развитие типов печей 1990–2014 гг. [6]

energy efficient preheater kiln systems. Vertical mills first introduced for coal grinding soon took over the raw material preparation area as they could provide both the grinding and drying functions in the same machine at lower energy consumption.

More recently the vertical mill has started to take over the finish grinding area as machine designs and metallurgy in particular have allowed for more robust designs at lower energy consumptions. The introduction of vertical mills has enabled the feed streams to become coarser. In fact, vertical roller mills need a coarser feed to run well. This has allowed for more energy efficient and less complicated crushers.

For raw mills, large single pass impact crushers are now being preferred over older two stage, closed circuited crushing systems typically involving a jaw or gyratory crusher. For finish mills roll crushers at the end of the clinker cooler have become more popular as they have lower maintenance cost.

Economies of scale have led to larger and larger plants being built. In the 1970s and 1980s it was common to build cement plants with capacity of one million ton per year. Today in-land plants are commonly around 2–3 million tons in a single kiln line, while plants with water access for shipping are typically using 10,000–12,000 tons per day per kiln. These plants often have multiple kiln lines.

Sustainability

Sustainability has become the new buzz word for the industry. Entrenched global players based in developed countries have come to the understanding that working well with local communities and protecting the environment are essential parts of staying in business in the long term. Several large cement companies have grouped together to form the Cement Sustainability

мировом масштабе еще предстоит найти. Так или иначе, применение различных ставок налога на выбросы углекислого газа ведет к росту международной торговли цементом.

Факторы развития технологий производства цемента

Существует три основных фактора развития технологий производства цемента: эффективное использование энергии, экономия за счет роста производства и, в последнее время, экологически безопасное устойчивое развитие.

В 70-е годы прошлого века мировые цены на энергию начали существенно расти, что подтолкнуло производителей к созданию более энергоэффективных цементных заводов. Медленные печи, работающие по сухому или мокрому способу, стали постепенно заменяться более эффективными, с точки зрения энергозатрат, системами печей предварительного нагрева. Благодаря комбинации функций измельчения и сушки в одном устройстве при более низком энергопотреблении, для подготовки сырья стали применяться вертикальные мельницы, которые изначально использовались только для размола угля.

В последнее время вертикальные мельницы начали завоевывать и сферу тонкого помола, поскольку конструкция машин, и в частности технологии металлургии, способствовали созданию более надежных конструкций при меньших энергозатратах. С использованием вертикальных вальцовых мельниц стало возможно применять материал более крупных фракций, что фактически необходимо для их бесперебойной работы. В результате появились более энергоэффективные и простые дробилки.

Среди сырьевых мельниц сегодня предпочтению отдается ударным дробилкам с однократным прохождением материала вместо оборудования старого типа с двукратным прохождением материала — систем дробления с закрытым контуром, обычно использующим щековую или вращающуюся коническую дробилку. Что касается мельницы тонкого помола, благодаря более низкой стоимости обслуживания стали приобретать популярность вальцовые мельницы, установленные на конце клинкерного холодильника.

В результате экономии за счет масштаба производства стали строиться все более крупные предприятия. В 70-х и 80-х годах прошлого века строительство завода на один миллион тонн цемента в год было обычным явлением. Сегодняшние заводы, не имеющие возможности перевозки продукции водным транспортом, обычно рассчитаны примерно на 2–3 млн т на производственную линию с одной печью. А заводы, имеющие такую возможность, обычно используют печи производительностью 10–12 тыс. т в день. На таких заводах часто функционируют производственные линии с несколькими печами.

Initiative (CSI). A non-profit group dedicated to promoting sustainable activities within the global cement industry.

Briefly stated, the focus of sustainability is to allow for production practices today that preserve the rights of future generations. The movement started primarily as an environmental effort and has expanded into a stakeholder wellness program which includes employees, communities, and investors.

The environment and its protection have been in the forefront of regulations in the cement industry, and governments around the world have been tightening environmental regulations on the industry. At first they were mostly focused on dust and acid gases consisting of NO_x and SO_x . The focus has now grown to include heavy metals and mercury in particular as well as volatile organic emissions placing emphasis on dioxins and furans.

Growing concerns over climate change have pushed CO_2 to the forefront as well. CO_2 reduction has become a major effort for the Cement Sustainability Initiative. The major levers for reducing CO_2 emissions have improved energy efficiency, substitute fuels use and allowed to cut down clinker content in cement products.

Thermal energy efficiency has appeared to stall out at around 3.0 GJ/t-clk with a 5 stage precalciner being the best available technology for cement production today. This provides a thermal energy efficiency in excess of 50%. That is more than half of the heat delivered required to drive the clinkering reactions.

Electrical energy consumption is plant specific with the leading plants achieving energy efficiency of less than 80 kWh/t-cem. These plants use state-of-the art equipment including vertical mills for clinker and cement production. They often use clinker substitutes in cement products to reduce the energy input from the clinker. Modern single line cement plants with few auxiliary functions are the new model of a production facility.

The use of alternative fuels is widely seen as a major factor in improving the sustainability of the industry. Biogenic fuels, those fuels that come from plant life, are often seen as CO_2 neutral. Alternative fuel use varies widely by country. This is due primarily to the sophistication of the country's recycling program. The more local regulations and practices are pushed towards a recycling culture, the more material is available in the local market and the more financial incentive there arises to use that fuel. Europe has been leading the charge in this respect. Countries that want to increase the use of alternative fuels need to start with a focus on collection systems.

In future, I believe many cement companies will be looking to grow a portion of their own fuel. Many cement companies own large tracts of land that can be used, either before or after quarrying, for the growth of fuels.

The last traditional lever in CO_2 footprint reduction is the use of cement substitutes, also known as supplemental

Экологически безопасное устойчивое развитие

Экологически безопасное устойчивое развитие стало новым популярным трендом современной цементной промышленности. Производители из развитых стран, давно занявшие свои ниши на мировом рынке, начали понимать, что успешное сотрудничество с местным населением и защита окружающей среды — это неотъемлемая часть политики, позволяющей сохранить бизнес в долгосрочной перспективе. Так, несколько крупных производителей цемента объединились в некоммерческую организацию «Инициатива по устойчивому развитию цементной промышленности (CSI)». Эта НКО занимается продвижением мероприятий, направленных на устойчивое экологическое развитие цементной промышленности.

Идею устойчивого экологического развития кратко можно определить как развитие промышленного производства с учетом обеспечения и защиты прав следующих поколений. Это движение начиналось как экологическая инициатива, которая в дальнейшем выросла до масштабов программы здорового образа жизни, в которой принимают участие как работники предприятий, так и местные сообщества и инвесторы.

Вопросы охраны окружающей среды являются одними из главных для нормативно-правового регулирования цементной отрасли, а правительственные меры в этом отношении во всем мире ужесточаются. Сначала природоохранное законодательство в основном регулировало выбросы пыли и кислотных газов с содержанием оксидов азота (NO_x) и оксидов серы (SO_x). Сейчас спектр приоритетных тем стал шире, он включает в себя выбросы тяжелых металлов, ртути и летучих веществ, в особенности диоксинов и фуранов.

Растущая обеспокоенность в связи с изменениями климата заставила рассматривать среди веществ, опасных для окружающей среды, и углекислый газ (CO_2). Важнейшей целью организации «Инициатива по устойчивому развитию цементной промышленности» стало сокращение количества выбросов CO_2 . Основные способы уменьшения таких выбросов — повышение энергоэффективности, использование альтернативных видов топлива и сокращение количества клинкера в цементе.

Наилучшей из доступных технологий производства цемента на сегодняшний день является пятиступенчатая система печи с декарбонизатором, энергоемкость которой составляет около 3,0 ГДж/т клинкера. При этом экономится до 50% тепловой энергии. Это более половины производимого тепла, необходимого для реакции клинкерообразования.

Количество потребляемой электроэнергии отличается на каждом заводе. Энергоэффективность ведущих предприятий — до 80 кВт · ч/т цемента — достигается благодаря использованию самого современного оборудования, включая вертикальные мельницы для клинкера и цемента. Кроме того, для

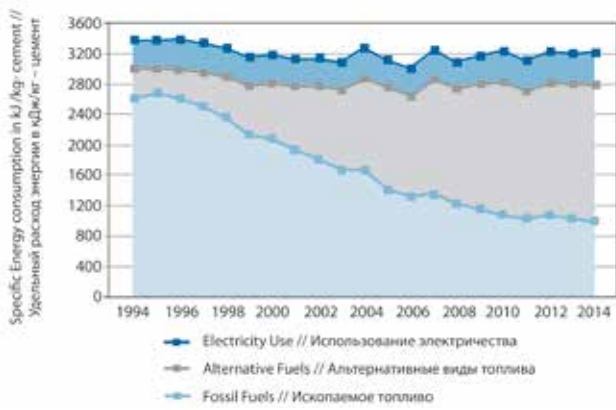


Fig. 5. Share of total energy by source for the German cement industry (VDZ) [7]

Рис. 5. Потребление энергии по источникам для цементной промышленности в Германии [7]

cementitious materials (SCMs). Common cement substitutes have been flyash (a waste product from coal fired power generation) and blast furnace slag (a waste product from iron production). More recently limestone, pozzolans, and calcined clays have been added.

Cement substitution is the area where there is still the most to gain in reducing cement’s CO₂ emissions. The quantities of flyash and blast furnace slag are limited by other industries. They are both available in excess of supply today but can easily be fully consumed in future. Indeed, interest in the international trade of flyash is increasing.

On the other hand, there is an abundance of pozzolans in the world today. Countries that have recent volcanic experience tend to have good supplies of reactive pozzolans that can be added directly to cement. This can be easily seen along the Pacific coast of South America nowadays. Areas with no recent volcanic activity may have

снижения энергозатрат часто используются минеральные добавки в цементе. Таким образом, новая модель современного цементного завода — это производство с одной линией и несколькими дополнительными функциями.

Основным фактором устойчивого развития отрасли считается использование альтернативных видов топлива. При этом безопасными в отношении выбросов CO₂ рассматриваются биотопливо и виды топлива, получаемые в результате жизнедеятельности растений. Использование альтернативного топлива существенно варьируется в зависимости от страны. В первую очередь это происходит из-за сложности государственных программ по переработке. Чем сильнее стимулируется вторичная переработка через местное законодательство и принятую на местах практику, тем больше таких материалов появляется на местных рынках и тем выгоднее становится использование альтернативного топлива. Европа прилагает значительные усилия в этом направлении. Страны, которые хотят увеличить объем использования альтернативного топлива, должны начинать с организации систем сбора сырья.

Безусловно, в будущем многие компании-производители цемента будут стремиться использовать больше собственного топлива. Многие производители владеют большими участками земли, которые, до или после карьерной разработки, можно использовать для увеличения запасов топлива.

Еще один традиционный способ снижения выбросов CO₂ — это использование активных минеральных добавок, известных как дополнительные вяжущие материалы (ДВМ). Наиболее распространенные ДВМ — зола-унос (отходы от производства электроэнергии на основе сжигания угля) и доменный шлак (отходы сталелитейного производства). В последнее время к ним добавились известняк, пуццолан и кальцинированная глина.

Table 1. CSI targets and progress from selected cement manufacturer’s sustainability reports (Kline) [8]

Таблица 1. Целевые и фактические показатели отдельных производителей цемента, представленные CSI на основании отчетов об устойчивом развитии этих компаний [8]

Cement Sustainability Initiative (CSI) // Инициатива по устойчивому развитию цементной промышленности (CSI)	Progress of Selected Companies // Фактические показатели отдельных производителей цемента							
	CSI Target	Lafarge - Holcim	Hedibelberg	Cemex	Italcementi	CRH	Ultratech	Taiheyo
Targets / Progress // Целевые/Фактические показатели	2050	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015
Thermal energy consumption per tonne of clinker GJ / tonne // Энергоемкость на тонну клинкера, ГДж/т	3.2	3.533	3.650	3.897	3.802	3.577	3.002	3.288
Alternative Fuels Total % // Альтернативное топливо, всего %	37%	15.1%	20.7%	26.6%	12.9%	33.9%	1.3%	13.3%
Biomass fuel usage % // Потребление биотоплива, %	included // включительно	5.3%	7.5%	10.9%	4.9%	12.1%	0.9%	2.2%
Clinker to cement ratio // Отношение клинкера к цементу	71%	71.0%	75.0%	78.6%	80.5%	74.5%	78.2%	84.1%
Tonne CO ₂ emissions per tonne cement // Выбросы CO ₂ на тонну цемента	0.42	0.593	0.635	0.769	0.691	0.622	0.644	0.721

to resort to producing artificial pozzolans by calcining clay materials. Calcined clays are less energy intensive than clinker and can easily substitute clinker in cement.

Cements being made today have equivalent properties to traditional Portland cements but with half of the clinker content. The secret to high levels of clinker substitution involves using the reactive substitutes and paying close attention to the particle size distributions of each component.

The Future of Cement

Cement production growth will be highest in areas where the two main growth factors converge; growing population and a need to develop a robust infrastructure. This indicates that the cement consumption will shift away from China to India, Southeast Asia and Africa, as seen in the (already outdated) 2011 IEA low-growth scenario.

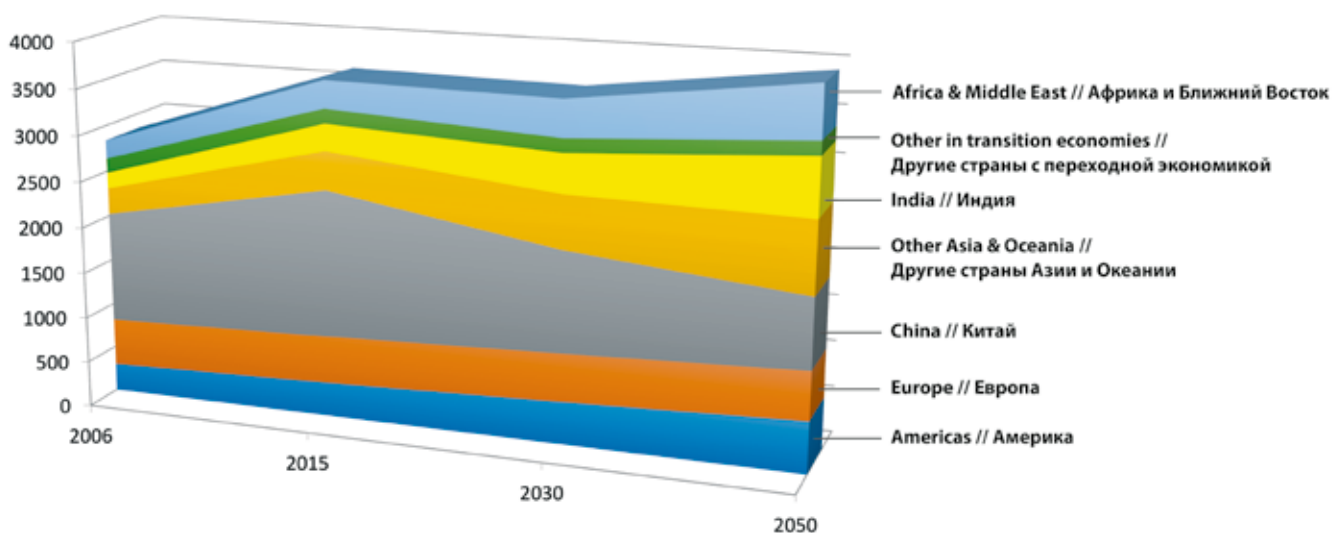


Fig. 6. International Energy Agency "Low-growth" scenario (IEA, 2011) [2]

Рис. 6. Сценарий падения экономики, выполненный МЭА в 2011 г. [2]

Business consolidation will increase with a slower growth registered by the global international players, as the large local players continue to expand out of their home countries. The impact that Chinese cement companies will have on the world is still unclear. Large excess capacities in China in the future could mean a focus on exporting cement on the Pacific. This could disrupt production in the developed countries operating around the Pacific rim, especially Japan and the United States.

Large capacity cement plants with 10,000 tpd and clinker lines will continue to be preferred for the areas with water transport. Simple single line plants will remain most common for in-land plants, and

Наиболее эффективным способом сокращения выбросов CO₂ в цементной промышленности является замена цемента альтернативными материалами. Количество используемых золы-уноса и доменного шлака ограничено производствами других отраслей. В настоящий момент эти материалы свободно доступны, однако в будущем они могут быть полностью исчерпаны. Действительно, объемы международной торговли золой-уносом постоянно увеличиваются.

В настоящий момент в мире существует избыток пуццолана. Страны с недавно действовавшими вулканами активно стремятся поставлять пуццолан, который можно добавлять непосредственно в цемент. Такая тенденция наблюдается на Тихоокеанском побережье Южной Америки. Страны, в которых нет вулканической активности, могут прибегать к производству искусственного пуццолана методом кальцинирования глинистых пород. Кальцинированные глины — менее энергоемкий материал, чем клинкер, поэтому может легко заменить его в цементе.

Среди видов производимого сегодня цемента есть такие, которые имеют одинаковые свойства с традиционным портландцементом, однако доля клинкера в них составляет лишь 50%. Секрет высокого уровня замещения клинкера состоит в использовании химически активных заменителей. Кроме того, пристальное внимание уделяется распределению каждого компонента по размерам частиц.

Будущее цемента

Наиболее высокий рост производства цемента ожидается в тех регионах, где сочетаются два основных фактора роста: прирост населения и увеличение

mostly in the 5,000–6,000 tpd range. Automation will proceed to advance, primarily driven by countries with higher wage rates.

State of the art environmental controls will be required for reducing emissions. These will include SNCR for NO_x control, lime injection for SO_x control, and activated carbon injection for mercury control. These technologies have been proven effective in countries with tighter emission levels today.

More attention will be paid to CO₂. Leading companies should already have their longer term CO₂ strategies in place. These strategies rely on state-of-the-art energy efficient plants utilizing large amounts of biogenic fuels and having high levels of clinker substitution. Companies that want to stay ahead of the curve need to understand today how they will meet the 2030 and 2050 CO₂ reduction targets.

Concrete and cement are here to stay. There are not enough other materials known today that can take the place of cement and concrete. That means that survival of the fittest cement companies will depend on how well they face and prepare for the competitive challenges of the industry.

References // Литература

1. Global Capacity Increase, Cembureau, <http://www.cembureau.be/sites/default/files/World%20cement%20production%20by%20region%20-%202001-2015.pdf>
2. Kline, Barcelo, "Cement & CO₂: A Victim of Success", 2012, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6215687/>
3. Country Cement Production, USGS, <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/mcs-2017-cemen.pdf> & <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/mcs-2016-cemen.pdf>
4. Country GDP, CIA, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2004rank.html>
5. Country Population, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_population_\(United_Nations\)](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_population_(United_Nations))
6. Kiln Types, CSI, CSI website, <http://www.wbcscement.org/GNR-2014/index.html>
7. Alternative Fuels, VDZ, https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/TB12-15/VDZ-Taetigkeitsbericht_2012-2015.pdf
8. Sustainability Targets, Kline J., Kline C., "COP21 and Cement's CO₂ Challenge", March 2017, International Cement Review.

объемов производства. Это означает, что Китай перестанет быть лидером по потреблению цемента и основными потребителями станут Индия, Юго-Восточная Азия и Африка, как видно из уже устаревшего сценария падения экономики Международного энергетического агентства (МЭА) за 2011 г.

При более медленном росте потребления, фиксируемом ведущими мировыми игроками, все больше предприятий будут консолидироваться, а крупные местные производители продолжат расширение за пределы своих стран. При этом до сих пор остается неочевидным, какое влияние на мировой рынок окажут китайские производители цемента. Большой уровень перепроизводства в будущем может подтолкнуть Китай к увеличению экспорта цемента в страны тихоокеанского региона. Это может серьезным образом подорвать производство в развитых странах, работающих в регионах, прилегающих к тихоокеанскому побережью, особенно в Японии и Соединенных Штатах Америки.

В зонах с возможностью транспортировки водным транспортом предпочтение по-прежнему будет отдаваться мощным цементным заводам с клинкерными линиями производительностью более 10 000 т/сут. В то же время заводы с одной линией производительностью в 5000–6000 т/сут будут оставаться наиболее распространенным типом производства в районах, удаленных от воды. Автоматизация производства будет продолжать развиваться, главным образом благодаря странам с высоким уровнем заработной платы.

Для сокращения выбросов будут использоваться новейшие средства контроля за состоянием окружающей среды, такие как: для регулирования содержания азота (NO_x) с помощью некаталитического восстановления; для оксида серы (SO_x) — подача извести; и для ртути — введение активированного угля. Эти технологии доказали свою эффективность в странах с наиболее низким уровнем выбросов.

Все больше внимания будет уделяться выбросам углекислого газа. Ведущие компании уже сейчас должны разрабатывать долгосрочные стратегии по сокращению выбросов CO₂, основанные на опыте заводов, оснащенных новейшим энергоэффективным оборудованием и использующих значительное количество биотоплива с высоким уровнем замещения клинкера. Компании, желающие быть на шаг впереди, уже сегодня должны понимать, как достичь нормативов сокращения CO₂, заложенных на 2030-е и 2050-е годы.

Бетон и цемент будут использоваться и в дальнейшем. В настоящий момент не существует строительных материалов, способных занять их место. А это значит, что дальнейшее развитие наиболее успешных цементных компаний будет зависеть от их готовности столкнуться с конкуренцией в отрасли и преодолеть ее.



СОЮЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЦЕМЕНТА

ЛЕТ

СОЮЗЦЕМЕНТ

15

ЕДИНОЕ ПРОСТРАНСТВО — ОБЩИЕ ИНТЕРЕСЫ



- ◆ ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ
- ◆ РАЗМЕЩЕНИЕ В ЗОНАХ ПОВЫШЕННОГО СПРОСА
- ◆ ЕДИНЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИТИКЕ

WWW.SOYUZCEMENT.RU





¹Sivkov, S., Ph.D., associate professor, Head of Department, ²Potapova, E., Doctor of Sc., Prof., D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

REGULATION OF CEMENT PRODUCTION PROCESS TECHNOLOGICAL PARAMETERS BASED ON THE BEST AVAILABLE TECHNIQUES



¹Сивков С., канд. техн. наук, зав. кафедрой, ²Потапова Е., доктор техн. наук, профессор, Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, г. Москва, Россия

НОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА НА ОСНОВЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Abstract

Application of best available techniques (BAT) is aimed at improving the existing legal regulation in the sphere of environmental protection by means of BAT use mechanism. Information and technical reference for the best available techniques (ITR) provides a description of cement production processes, equipment, technical means and methods to reduce the negative impact on the environment, water and raw material consumption, and to improve energy efficiency. Technological parameters specified in the ITR will be used as a basis for calculation of technological standards established by the integrated environmental permits (IEP).

Key words: best available technique, technological parameter, technological standard, marker, integrated environmental permit

Despite many recent publications on the best available techniques used in the cement production, most readers never got a clear idea of what is meant by this word combination. First of all, there appears to be some new fantastic production technology or new equipment that enables production of Portland cement with super-high quality indicators and at the same time minimum fuel and electricity costs.

In fact, this is not the case. In accordance with the Federal Law № 219-FZ “On amendments to the Federal Law “On environmental protection” of 21.07.2014 and certain legislative acts of the Russian Federation” [1], best available technique – is a standard (goods) production technology, works performance and services rendering practice determined on the basis of modern scientific and technological achievements and by the best criteria combination enabling to achieve environmental protection goals, provided that technical feasibility of its application is available. At the same time, the best

Аннотация

Применение наилучших доступных технологий (НДТ) направлено на совершенствование существующего правового регулирования в области охраны окружающей среды через механизм использования НДТ. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (ИТС) содержит описание применяемых при производстве цемента технологических процессов, оборудования, технических способов и методов, позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, потребление воды и сырья, повысить энергоэффективность. Приведенные в ИТС технологические показатели будут положены в основу расчета технологических нормативов, устанавливаемых комплексными экологическими разрешениями (КЭР).

Ключевые слова: наилучшая доступная технология, технологический показатель, технологический норматив, маркер, комплексное экологическое разрешение

Несмотря на появившееся в последнее время большое количество публикаций, посвященных наилучшим доступным технологиям при производстве цемента, многие читатели так и не получили ясного представления, что подразумевается под этим словосочетанием. Прежде всего представляется какая-то новая фантастическая технология производства или новое оборудование, позволяющие получить портландцемент с супервысокими показателями качества и при этом с минимальными затратами топлива и электроэнергии.

В действительности это совсем не так. В соответствии с Федеральным законом от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельными

available techniques can be classified as technological processes, equipment, technical and other methods of environmental protection. Thus, the best available technique in cement production process is already existing and proven technology allowing to obtain Portland cement of good quality with less damage to the environment.

The "technology" refers both to the technology used and the way in which the facility is designed, built, operated and decommissioned; it is not the production technology only, but also various technical and non-technical methods (environmental management, management solutions) used to achieve the set goals.

"Available" means economically feasible and non-unitary technique that has progressed to the level allowing its implementation in the cement industry, taking into account economic and technical feasibility, considering costs and benefits; at the same time, the technology should be implemented at least at two enterprises of the industry sector.

"Best" indicates the technology that maximizes environmental protection and resources (raw materials, water, energy) conservation.

In the countries of the European Union, where free exchange of information related to environmental protection was introduced, reference books on the best available techniques are issued for the industries causing severe damage to the environment. "Reference document on best available techniques. Production of cement, lime and magnesium oxide" [2] was published in 2009. And in late 2015, a similar reference guide (ITR 6-2015 Cement production) was developed in the Russian Federation, which was brought into effect on July 1, 2016) [3].

The information and technical reference book on the best available techniques contains a description of the technological processes, equipment, technical methods and processes used in cement production allowing to mitigate the negative impact on the environment, to reduce water and raw materials consumption, and to improve energy efficiency. Based on the described technological processes, equipment, technical methods and processes, we have identified the solutions considered to be the best available techniques. For each BAT, the ITR provides for the appropriate technological parameters and standards. At the same time, technological parameters are indicators of pollutants concentration, volume and (or) mass of emissions, pollutants discharges, production and consumer waste generation, water consumption and use of energy resources... per unit of output. Technological standards are provided for the emission rates, pollutants discharges, standards for permissible physical impacts established using technological parameters listed in the relevant BAT reference books.

ITR is recommended to cement industry enterprises for BAT implementation programs preparation, to regulatory bodies — for assessing

законодательными актами Российской Федерации» [1], наилучшая доступная технология — технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения. При этом к наилучшим доступным технологиям могут быть отнесены как технологические процессы, оборудование, технические способы, так и другие методы защиты окружающей среды. Таким образом, наилучшая доступная технология при производстве цемента — это уже существующая и апробированная технология, позволяющая получить портландцемент удовлетворительного качества с минимальным ущербом для окружающей среды.

Под «технологией» понимается как используемая технология, так и способ, с помощью которого объект спроектирован, построен, эксплуатируется и выводится из эксплуатации. Это не только технология производства, но и различные технические и нетехнические методы (экологический менеджмент, управленческие решения), используемые для достижения поставленных целей.

Под «доступной» понимается экономически целесообразная и не уникальная технология, которая достигла уровня, позволяющего обеспечить её внедрение в цементной промышленности с учётом экономической и технической обоснованности, а также затрат и преимуществ. При этом технология должна быть реализована хотя бы на двух предприятиях отрасли.

Под «наилучшей» понимается технология, в максимальной мере обеспечивающая охрану окружающей среды и сбережение ресурсов (сырья, воды, энергии).

В странах Евросоюза, в которых предусмотрен свободный обмен информацией, касающейся защиты окружающей среды, для отраслей промышленности, наносящих ощутимый ущерб окружающей среде, выпускаются справочники по наилучшим доступным технологиям. Так, в 2009 г. был опубликован «Справочный документ по наилучшим доступным технологиям «Производство цемента, извести и оксида магния» [2]. А в конце 2015 г. подобный справочник (ИТС 6-2015 Производство цемента) был разработан и в Российской Федерации. С 1 июля 2016 г. он введен в действие [3].

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям содержит описание применяемых при производстве цемента технологических процессов, оборудования, технических способов и методов, позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, потребление воды и сырья, повысить энергоэффективность. Из описанных технологических процессов, оборудования, технических способов и методов определены

the compliance of enterprises with environmental requirements, and to the state bodies for making decisions on state co-financing of investment projects (modernization projects). The best available techniques (BAT) application is aimed at improving the existing legal regulation in the sphere of environmental protection using BAT mechanism.

The introduction of the BAT principle will eliminate the need for setting rigid standards for all enterprises, which is impossible considering the variety of raw materials used, production processes, etc. Using the BAT reference book, industrial enterprises will be able to assess how much the enterprise's emissions and discharges correspond to the technological parameters when applying BAT.

There are various cement production methods that differ in terms of heat consumption, electric power and natural material resources. Cement production process is accompanied by release of various substances having a negative impact on the environment: dust, harmful and toxic gases, metal compounds, organic substances, as well as noise, odour, etc.

Using for comparison a complete list of production features or harmful substances emissions and selection of the best technologies ensuring maximum environment protection is an extremely difficult or almost impossible task. Federal Law No. 219-FZ of July 21, 2014 defines that measurements during implementation of industrial environmental control are carried out with respect to marker pollutants to be determined for monitoring environmental pollution, depending on the technological processes used. The definition of the term "marker substance" is provided in clause 2.17 of PNST 22-2014 [4]: "The marker substance is the most significant representative of a group of substances within which a close correlation relationship is observed. It is selected according to certain criteria. Possibility of evaluating the values of all the substances making up the group by the marker substance value is its peculiarity". This definition is very inapt due to limited understanding of the marker concept.

Meanwhile, the clause 2.14 in the same PSTN 22-2014 describes the term "BAT reference book" as "standardization document ... containing descriptions of the applied ... technological processes, technical methods, methods to prevent and reduce the negative impact on the environment ... including the relevant environmental performance parameters, resource and energy efficiency, as well as economic indicators" (highlighted by the authors). Therefore, in our opinion, when selecting indicators characterizing a particular technological process, the method or technique used in cement production, the term "marker" in its broader sense, in particular, indicators of resource and energy efficiency of production, associated with cement production should be used instead of the term "marker substance".

Taking into account the experience of developing the European reference documents on the best available

решения, являющиеся наилучшими доступными технологиями. Для каждой НДТ в ИТС установлены соответствующие технологические показатели и нормативы. При этом технологические показатели — показатели концентрации загрязняющих веществ, объема и (или) массы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, образования отходов производства и потребления, потребления воды и использования энергетических ресурсов в расчете ... на единицу производимой продукции. Технологическими нормативами считаются нормативы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, нормативы допустимых физических воздействий, которые устанавливаются с применением технологических показателей, приведенных в соответствующих справочниках по НДТ.

ИТС рекомендован предприятиям цементной промышленности для подготовки программ внедрения НДТ, регулирующим органам — для оценки соответствия предприятий экологическим требованиям, государственным органам — для принятия решения о государственном софинансировании инвестиционных проектов (проектов модернизации). Применение наилучших доступных технологий направлено на совершенствование существующего правового регулирования в области охраны окружающей среды через механизм использования НДТ.

Внедрение принципа НДТ позволит уйти от установления единых для всех предприятий жестких норм, что невозможно с учетом разнообразия применяемого сырья, процессов производства и т.д. Используя справочник НДТ, промышленные предприятия смогут оценить, насколько параметры выбросов и сбросов предприятия соответствуют технологическим параметрам при применении НДТ.

Производство цемента может осуществляться различными способами, различающимися уровнем потребления тепла, электрической энергии и природных материальных ресурсов. Сам процесс производства цемента сопровождается эмиссией в окружающую среду различных веществ, оказывающих негативное влияние на экологию: пыли, вредных и токсичных газов, соединений металлов, органических веществ, а также шума, запаха и т.п.

Использование полного перечня особенностей производства или выбросов вредных веществ для сравнения и выбора наилучших технологий, обеспечивающих максимальную защиту окружающей среды, является чрезвычайно сложной или практически невыполнимой задачей. Федеральным законом от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ определено, что измерения при осуществлении производственного экологического контроля проводятся в отношении маркерных загрязняющих веществ, установленных для контроля загрязнения окружающей среды в зависимости от применяемых технологических процессов. Определение термина «маркерное вещество», представлено в п. 2.17 ПНСТ 22-2014 [4]: «Маркерное вещество — наиболее значимый представитель группы веществ, внутри которой наблюдается тесная корреляционная

techniques for cement production, the following markers were suggested:

- **markers are indicators of production technological efficiency.** These are generalized parameters that significantly influence the cement production process ecology;
- **markers are substances or physical phenomena arising during cement production** emitted into the environment and causing significant damage to the environment and human health.

The following parameters are used as the markers — indicators of technological efficiency of cement production:

- **specific consumption of raw materials for the production of 1 ton of Portland cement clinker and Portland cement;**

This marker is directly related to the resource intensity of cement production process. Natural raw materials can be partially or completely replaced by industrial waste. In this context, it results in less consumption of non-renewable natural resources, and less environmental damage caused by industrial waste dumps. In addition, due to the fact that by-products are often subjected to preliminary burning, their use as a part of cement results in reduced emissions of the most important greenhouse gas — carbon dioxide CO₂.

- **specific heat (fuel) consumption for burning 1 ton of Portland cement clinker;**

This marker reflects the energy intensity, in particular, the fuel capacity of cement production process. The lower is the specific fuel consumption for burning of Portland cement clinker, the higher is the energy efficiency of cement production, and the lower are the emissions of the main greenhouse gas CO₂ per ton of ready products.

- **specific energy consumption for production of 1 ton of Portland cement;**

This marker is also associated with cement production energy efficiency.

Thus, the three above-mentioned markers-indicators of cement production process technological efficiency are generalizing parameters associated (directly or indirectly) with environmental damage caused by greenhouse gas emissions and consumption of non-renewable natural resources.

As markers — either substances or physical phenomena arising during cement production process, emitted into the environment and causing significant damage to the environment and human health, it is proposed to use [5, 6]:

взаимосвязь, выбираемый по определенным критериям. Особенностью маркерного вещества является то, что по его значению можно оценить значения всех веществ, входящих в группу». Такая формулировка определения представляется крайне неудачной вследствие резкого сужения понятия маркера.

При этом в том же ПНСТ 22-2014 в п. 2.14 приводится расшифровка термина «справочник НДТ» как «документ по стандартизации ..., содержащий описания применяемых ... технологических процессов, технических способов, методов предотвращения и сокращения негативного воздействия на окружающую среду ..., включая соответствующие параметры экологической результативности, ресурс- и энергоэффективности, а также экономические показатели» (выделено авторами). Таким образом, по нашему мнению, при выборе показателей, характеризующих тот или иной технологический процесс, прием или метод при производстве цемента следует использовать не термин «маркерное вещество», а термин «маркер» в более широком его смысле, в частности показатели ресурс- и энергоэффективности производства, связанные с экологией производства цемента.

С учетом опыта разработки европейских справочных документов по наилучшим доступным технологиям при производстве цемента, было предложено использовать следующие маркеры:

- **маркеры — показатели технологической эффективности производства** — обобщенные параметры, оказывающие значительное влияние на экологию процесса производства цемента;
- **маркеры — вещества или физические явления, возникающие при производстве цемента**, эмитируемые в окружающую среду и наносящие ощутимый экологический вред окружающей среде и здоровью человека.

В качестве маркеров — показателей технологической эффективности производства цемента — используются:

- **удельный расход сырьевых материалов на производство 1 т портландцементного клинкера и портландцемента;** Данный маркер напрямую связан с ресурсоемкостью процесса производства цемента. Природные сырьевые материалы могут быть частично или полностью заменены на промышленные отходы. При этом не только снижается потребление невозобновляемых природных ресурсов, но и уменьшается ущерб окружающей среде, наносимый отвалами промышленных отходов. Кроме того, поскольку техногенные материалы зачастую подвергаются предварительному обжигу, то их использование в составе цемента приводит к снижению выбросов важнейшего парникового газа — диоксида углерода CO₂.

- **dust emissions;**
- **emissions of nitrogen oxides NO_x;**
- **emissions of sulfur dioxide SO₂;**
- **emissions of carbon monoxide CO;**
- **noise generated due to equipment operation.**

There were also proposals to include in these markers emissions of highly volatile heavy metals (Hg, Cd, Tl), gaseous chlorides and fluorides (HCl, HF), polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans (PCDD/PCDF). However, up to date, only a few measurements of these emissions have been carried out at several cement plants in the Russian Federation, so that their inclusion into the markers seemed to be illegitimate. Therefore, it was decided to include emissions measurement of these pollutants into the environmental control program (once every three to five years), to analyze the results obtained and, subject to the subsequent updating of the ITR, add them to the list of marker substances.

Below are the best available techniques for each marker and performance targets achieved in their implementation.

BAT 1. To reduce specific consumption of raw materials for the production of Portland cement clinker, natural raw materials should be replaced with production waste, and the content of clinker in cement should be reduced to the minimum acceptable level.

BAT 2. When using waste as raw material and (or) fuel for cement production in order to minimize the risk of growth of harmful substances emissions into the environment, it is necessary to:

- perform the detailed analysis of any wastes that can be used as raw material and (or) fuel in a cement kiln, to apply a quality assurance system to them in order to ensure permanent physical (ash content, coarse particles, reactivity, burnability and caloric content) and chemical (content of chlorine, fluorine, sulfur, alkali, volatile metals, etc.) criteria;
- ensure that there are sufficient number of controlled parameters to assess waste quality.

BAT 3. To reduce/minimize specific heat consumption for clinker burning, the following technical solutions shall be applied:

- use of dry production method, optimizing the number of cyclone heat exchanger stages in accordance with the characteristics of the raw materials used;
- application of the kiln system of the optimal configuration and stable operating mode of the furnace unit in accordance with the established parameters by optimizing the control system, including automatic computer-aided monitoring and process control automation;

- **удельный расход тепла (топлива) на обжиг 1 т портландцементного клинкера;**

Этот маркер отражает энергоемкость, точнее топливеемкость процесса производства цемента. Чем ниже удельный расход топлива на обжиг портландцементного клинкера, тем выше энергоэффективность производства цемента и тем ниже выбросы главного парникового газа CO₂ на тонну произведенной продукции.

- **удельный расход энергии на производство 1 т портландцемента;**

Данный маркер также связан с энергоэффективностью процесса производства цемента.

Таким образом, три вышеперечисленных маркера — показатели технологической эффективности процесса производства цемента — являются обобщающими параметрами, связанными (напрямую или косвенно) с экологическим ущербом, вызываемым выбросами парниковых газов и потреблением невозобновляемых природных ресурсов.

В качестве маркеров — веществ или физических явлений, возникающих при производстве цемента, эмитируемых в окружающую среду и наносящих ощутимый экологический вред окружающей среде и здоровью человека — предложено использовать [5, 6]:

- **выбросы пыли;**
- **выбросы оксидов азота NO_x;**
- **выбросы диоксида серы SO₂;**
- **выбросы оксида углерода CO;**
- **шум, возникающий в процессе работы оборудования.**

Обсуждались также предложения включить в данные маркеры выбросы высоколетучих тяжелых металлов (Hg, Cd, Tl), газообразных хлоридов и фторидов (HCl, HF), полихлорированных dibenzo-p-диоксинов и полихлорированных dibenzofurans (ПХДД/ПХДФ). Однако до настоящего времени в Российской Федерации проведены лишь единичные измерения этих выбросов на нескольких цементных заводах, вследствие чего включение их в маркеры представлялось необоснованным. Поэтому было принято решение включить измерение выбросов этих загрязняющих веществ в программу экологического контроля (с периодичностью один раз в три-пять лет), проанализировать полученные результаты и при последующей актуализации ИТС добавить их в перечень маркерных веществ.

Ниже представлены наилучшие доступные технологии по каждому маркеру и целевые показатели, достигаемые при их реализации.

НДТ 1. Для снижения удельных расходов сырьевых материалов для производства портландцементного клинкера необходимо осуществлять замену природных сырьевых компонентов отходами производства и снижение содержания доли клинкера в цементе до минимально допустимого уровня.

- use of modern homogenization, materials and fuel dosing and feeding systems;
- excess heat recovery from the kiln system, especially from the clinker cooler, recovered heat use for raw materials drying;
- use of high-calorific fuel with characteristics having a positive effect on the specific heat consumption reduction;
- minimizing atmospheric air ingress into the kiln system;
- minimizing gas flow to the bypass system;
- minimizing the moisture content of raw slurry by replacing some of the natural components with by-products and applying slurry diluents.

As a result of the above-mentioned measures implementation, the following technological parameters of specific heat costs for clinker burning can be achieved: for dry-process plants — 3550–4120 MJ/t (90–160 kgoe/t), wet-production plants — 5750–6900 MJ/t (196–235 kgoe/t), combined mode of production plants — 3950–4540 MJ/t (135–155 kgoe/t) of clinker.

BAT 4. In order to reduce thermal energy consumption it is necessary to generate additional amount of electric power or heat at the enterprise by combining plants with thermal power stations or district heating plants on the basis of useful heat recovery, within power regulation schemes that are proven to be economically stable.

BAT 5. When using waste as an alternative fuel, it is necessary to minimize the risk of increasing harmful substances emissions by applying the following technical solutions:

- the use of appropriate input points to supply alternative fuels into the kiln in order to ensure the necessary temperature and stay time of fuel-containing wastes in this zone, depending on their properties;
- supplying the alternative fuels containing organic components that can evaporate to the calcination zone into the zone with the required temperature;
- controlling the kiln operation so that the combustion gases of fuel-containing waste would remain at temperatures over 850 °C for at least 2 seconds, even under the most unfavorable conditions;
- when burning hazardous waste containing fuels in the amount of more than 1% of halogenated organic substances (in terms of Cl₂), the temperature in the burning zone of the waste should be increased up to 1100 °C or higher;
- ensuring stable and constant supply of fuel-containing waste in the kiln during its ignition;

НДТ 2. При использовании отходов в качестве сырьевых материалов и (или) топлива для производства цемента для минимизации риска роста выбросов вредных веществ в окружающую среду необходимо:

- осуществлять тщательный анализ любых отходов, которые могут быть использованы как сырьевой материал и (или) топливо в цементной печи; применять по отношению к ним систему гарантии качества с целью обеспечения постоянных физических (зольности, наличия грубых частиц, реакционной способности, обжигаемости и калорийности) и химических (содержания хлора, фтора, серы, щелочей, летучих металлов и т.п.) критериев;
- обеспечить достаточное количество контролируемых параметров для оценки качества отходов.

НДТ 3. Для сокращения/минимизации удельных расходов тепла на обжиг клинкера необходимо применять следующие технические решения:

- использование сухого способа производства, оптимизация количества ступеней циклонного теплообменника в соответствии с характеристиками применяемых сырьевых материалов;
- применение печной системы оптимальной конфигурации и стабильного режима работы печного агрегата в соответствии с установленными параметрами путем оптимизации системы контроля, включая автоматический компьютерный контроль и автоматизацию управления технологическими процессами;
- использование современных систем гомогенизации, дозирования и подачи в печь материалов и топлива;
- рекуперация избытка тепла из печной системы, особенно из клинкерного холодильника, использование рекуперированного тепла для сушки сырьевых материалов;
- использование высококалорийного топлива с характеристиками, оказывающими положительный эффект на снижение удельного расхода тепла;
- минимизация подсосов атмосферного воздуха в печную систему;
- минимизация газового потока в систему байпаса;
- минимизация влажности сырьевого шлама путем замены части природных компонентов на техногенные материалы и применения разжижителей шлама.

В результате реализации перечисленных выше мероприятий могут быть достигнуты следующие технологические показатели удельных расходов тепла на обжиг клинкера: для заводов сухого способа производства — 3550–4120 МДж/т (90–160 кг у.т./т), заводов мокрого способа производства — 5750–6900 МДж/т (196–235 кг у.т./т), заводов комбинированного способа производства — 3950–4540 МДж/т (135–155 кг у.т./т) клинкера.

- fuel-containing waste burning shutdown when the necessary temperatures and stay time of the material in this zone cannot be provided.

BAT 6. To reduce the specific power consumption for cement production, it is necessary to carry out (separately or simultaneously) the following technical measures:

- development, implementation and use of the energy management system at the enterprise;
- use of modern high-performance grinding equipment (vertical roller mills, Horomil mills, roller pre-milling machines, etc.);
- use of highly efficient technological grinding schemes optimized for grinding a specific material;
- application of highly effective milling intensifiers.

When using the above-mentioned technical measures, the following technological parameters can be achieved: for dry mode of production plants — 110–140 kWh/t of cement, for wet mode production plants — 100–135 kWh/t of cement.

BAT 7. To reduce dust emissions from the stationary sources, it is necessary:

- to use modern hose and electrical precipitators, optimized for cleaning specific gases with relation to their humidity and temperature;
- to use (where necessary) hybrid filters;
- to carry out continuous monitoring of the filters condition and functioning and ensure necessary maintenance and repair.

When using these measures, the maximum dust emissions with SiO₂ content up to 20 mass% should not exceed (in periodic measurements as the arithmetic average for measurement time) for the designed enterprises — no more than 25 mg/Nm³, for processing lines commissioned after 2008 — not more than 50 mg/Nm³, commissioned before 2008 with upgraded filters — not more than 500 mg/Nm³ and commissioned before 2008 without upgrading the filters — not more than 1,000 mg/Nm³. Such a gradation of the technological parameter, in terms of the enterprise type, appeared after a long discussion among the members of the TRG 6 workgroup developing ITP.

BAT 8. To minimize dust emissions from fugitive sources, the following technical measures should be implemented:

- sealing of all technological processes associated with dust generation;
- using only closed belt conveyors and elevators;
- elimination of material spillage locations, installations sealing;
- using flexible hoses equipped with a dust collection system, when loading cement in bulk into a cement carrier;

НДТ 4. Для снижения потребления тепловой энергии необходимо осуществлять на предприятии выработку дополнительного количества электроэнергии или тепла путем объединения заводов с теплоэлектростанциями или теплоцентралями на базе полезной рекуперации тепла, в пределах схем регулирования энергии, которые экономически устойчивы.

НДТ 5. При использовании отходов в качестве альтернативного топлива необходимо минимизировать риск увеличения выбросов вредных веществ путем применения следующих технических решений:

- использование соответствующих точек ввода альтернативного топлива в печь с целью обеспечения необходимых температуры и времени пребывания топливосодержащих отходов в данной зоне в зависимости от их свойств;
- подача альтернативного топлива, содержащего органические компоненты, которые могут улетучиваться, до зоны кальцинирования в зону с необходимой температурой;
- управление работой печи таким образом, чтобы газы от сжигания топливосодержащих отходов находились при температурах более 850 °С не менее двух секунд даже при наиболее неблагоприятных условиях;
- при сжигании опасных топливосодержащих отходов с содержанием более 1% галогенсодержащих органических веществ (в пересчете на Cl₂) необходимо увеличить температуру в зоне горения отходов до 1100 °С и выше;
- обеспечение стабильной и постоянной подачи топливосодержащих отходов в печь;
- прекращение сжигания в печи топливосодержащих отходов при розжиге и останове печи, когда необходимые температуры и время пребывания материала в данной зоне не могут быть обеспечены.

НДТ 6. Для снижения удельного расхода электроэнергии на производство цемента необходимо осуществлять (раздельно или одновременно) следующие технические мероприятия:

- разработка, внедрение и использование на предприятии системы энергетического менеджмента;
- использование современного высокоэффективного помольного оборудования (вертикальных валковых мельниц, мельниц Ногомил, валковых предизмельчителей и т.п.);
- использование высокоэффективных технологических схем измельчения, оптимизированных для измельчения конкретного материала;
- применение высокоэффективных интенсификаторов помола.

В случае использования указанных выше технических мероприятий могут быть достигнуты следующие технологические показатели: для заводов сухого способа производства — 110–140 кВт/час/т

- wind protection;
- water spraying and use of substances that suppress dusting;
- wetting of stacks;
- using roadside coatings, washing and cleaning of roads.

BAT 9. To reduce emissions of nitrogen oxides from the kiln system, the following technical measures should be carried out:

- thorough regulation and burning process optimization;
- flare cooling by means of water injection or decarbonization of finely ground limestone;
- use of special burners with low nitrogen oxides release;
- combustion of a part of fuel in the heat exchanger inlet or in the middle part of the kiln;
- use of mineralizers to reduce clinker burning temperature;
- selective non-catalytic reduction of nitrogen oxides (SNCR technology);
- selective catalytic reduction of nitrogen oxides (SCR technology).

Application of the above technological measures (separately or jointly) will allow achieving nitrogen oxide emissions (expressed in terms of NO_2) from dry-type production kilns — not more than 500 mg/Nm^3 , and from long kilns of wet process and Lepol furnaces-kilns not more than 800 mg/Nm^3 .

BAT 10. If the SNCR selective non-catalytic reduction technology is used to reduce the emission of nitrogen oxides, it is necessary to maintain NH_3 ammonia breakthroughs (releases) from the kiln system at a minimum possible level, which may be achieved by:

- using only the stoichiometric quantity of a reducing agent (ammonia or carbamide solution) necessary to reduce nitrogen oxide emissions to a given level;
- a uniform distribution of the reducing agent in the gas stream.

In this case, the maximum concentration of NH_3 during breakthroughs usually does not exceed $30\text{--}50 \text{ mg/Nm}^3$.

BAT 11. To reduce emissions of sulphur oxide SO_2 from the rotary kiln, it is necessary:

- to use raw materials, fuel or fuel-containing waste with a minimum content of elemental (S^0) or sulfide (S^{-2}) sulfur;

цемента, для заводов мокрого способа производства — $100\text{--}135 \text{ кВт/час/т}$ цемента.

НДТ 7. Для снижения выбросов пыли из организованных источников необходимо:

- применять современные рукавные и электрофильтры, оптимизированные для очистки конкретных газов с учетом их влажности и температуры;
- применять (при необходимости) гибридные фильтры;
- осуществлять непрерывный мониторинг за состоянием и функционированием фильтров, обеспечивать им необходимое обслуживание и ремонт.

При использовании данных мероприятий максимальные выбросы пыли с содержанием SiO_2 до 20 масс. % не должны превышать (при периодических замерах как среднее арифметическое за время замера) для проектируемых предприятий — не более 25 мг/нм^3 , для технологических линий, введенных в эксплуатацию после 2008 г. — не более 50 мг/нм^3 , введенных в эксплуатацию до 2008 г. с модернизированными фильтрами — не более 500 мг/нм^3 и введенных в эксплуатацию до 2008 г. без модернизации фильтров — не более 1000 мг/нм^3 . Такая градация технологического показателя в зависимости от типа предприятия появилась после долгой дискуссии между членами рабочей группы ТРГ 6, разрабатывающей ИТС.

НДТ 8. Для минимизации выбросов пыли из неорганизованных источников необходимо осуществлять следующие технические мероприятия:

- герметизация всех технологических процессов, связанных с пылевыделением;
- использование только закрытых ленточных конвейеров и элеваторов;
- уменьшение мест просыпания материала, герметизация установок;
- использование гибких рукавов, снабженных системой пылеулавливания, при погрузке цемента навалом в цементовоз;
- противоветровая защита;
- водное опрыскивание и применение веществ, подавляющих пыление;
- увлажнение штабелей;
- применение покрытий на дорогах, мытье и уборка дорог.

НДТ 9. Для снижения выбросов оксидов азота из печной системы необходимо осуществлять следующие технические мероприятия:

- тщательное регулирование и оптимизация процесса обжига;
- охлаждение пламени факела за счет впрыска воды или декарбонизации тонкоизмельченного известняка;
- применение специальных горелок с низким выделением оксидов азота;

- to use $\text{Ca}(\text{OH})_2$ as an adsorbent and an additive to the raw mixture;
- to use wet scrubbers to desulfurize gases from the rotary kiln.

In case of the abovementioned methods implementation the maximum concentration of SO_2 in the gases from the rotary kiln shall not exceed 400 mg/Nm^3 .

BAT 12. Minimization of CO emissions from a rotary kiln can be achieved by using one or several following techniques:

- using (where possible) raw materials with a low carbon content;
- ensuring fuel uniform composition and properties, uniformity and consistency of its feeding to the furnace;
- burning process optimization by maintaining the necessary excess air factor in the kiln.
- stable operation of the kiln, the use of automated control systems for kiln operation;
- continuous automatic CO measurement in furnace gases by using equipment with a short response time located near the CO formation source.

The use of the said techniques will allow maintaining CO emissions from rotary kilns at a level of not more than 600 mg/Nm^3 of gases.

BAT 13. To reduce and minimize the noise level, it is recommended to implement the following technological measures:

- choosing the right place for performing noisy operations;
- fencing of noisy operations (units);
- vibration isolation of noisy units;
- soundproofing of the buildings where noisy equipment is located;
- installation of soundproof walls and natural soundproof barriers;
- the use of silencers on gas relief pipes;
- soundproofing of gas ducts and fans;
- closing doors and windows in shops and premises;
- soundproofing of wall openings by locks installation;
- installation of sound absorbers in the gas release areas;
- gas flows speed reduction in channels and flues;
- separation of noise sources and potentially resonant components (e.g. compressors and air ducts);
- using soundproof modules in devices (for example, compressors);

- сжигание части топлива на входе в теплообменник или в средней части печи;
- использование минерализаторов для снижения температуры обжига клинкера;
- селективное некаталитическое восстановление оксидов азота (технология SNCR);
- селективное каталитическое восстановление оксидов азота (технология SCR).

Применение указанных выше технологических мероприятий (отдельно или совместно) позволяет достигнуть выбросов оксидов азота (в пересчете на NO_2) из печей сухого способа производства — не более 500, а из длинных печей мокрого способа производства и печей Леполь — не более 800 мг/нм^3 .

НДТ 10. В случае использования для снижения выбросов оксидов азота технологии селективного некаталитического восстановления SNCR необходимо поддерживать просоки (выбросы) аммиака NH_3 из печной системы на минимально низком уровне, что достигается:

- использованием только стехиометрического количества восстановителя (раствора аммиака или карбамида), необходимого для снижения выбросов оксидов азота до заданного уровня;
- равномерным распределением восстановителя в газовом потоке.

В этом случае предельная концентрация NH_3 при проскоках обычно не превышает $30\text{--}50 \text{ мг/нм}^3$.

НДТ 11. Для снижения выбросов оксида серы SO_2 из вращающейся печи необходимо:

- использовать сырьевые материалы, топливо или топливосодержащие отходы с минимальным содержанием элементарной (S^0) или сульфидной (S^{-2}) серы;
- использовать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в качестве адсорбента как добавку к сырьевой смеси;
- использовать мокрые скрубберы для десульфуризации газов из вращающейся печи.

В случае применения указанных выше способов максимальная концентрация SO_2 в газах из вращающейся печи не превышает 400 мг/нм^3 .

НДТ 12. Минимизация выбросов CO из вращающейся печи может быть достигнута применением одного или нескольких технологических приемов:

- использование (при возможности) сырьевых материалов с низким содержанием углерода C;
- обеспечение однородного состава и свойств топлива, равномерность и постоянство его подачи в печь;
- оптимизация процесса обжига путем поддержания необходимого коэффициента избытка воздуха в печи.
- стабильный режим работы печи, применение автоматизированных систем управления работой печи;

- erection of buildings or planting trees and bushes between a protective strip and noisy production, etc.

BAT 14. Development, implementation, maintenance and continuous meeting of the environmental management system (EMS) requirements.

BAT 15. Regular parameters and emissions monitoring and measurement of in accordance with EN, ISO standards or national standards that guarantee compliance of the data with scientifically based criteria, including:

- continuous measurement of process stability parameters;
- critical process parameters monitoring and stabilization: homogeneous and constant composition of the raw mix, fuel, steady fuel feed to the kiln, necessary excess air in the kiln factor;
- periodic measurements of dust, NO_x, SO₂ in accordance with the production control schedule.

ITR emphasizes that the use of one or another BAT should be economically viable and related to the result achieved in case of its implementation.

As already mentioned above, in accordance with the Federal Law № 219-FZ of 21.07.14, there was a transfer to technological regulation in the field of environmental protection in the Russian Federation. First of all, this applies to large enterprises in key economic sectors that have a significant impact on the environment classified as Category I objects [7]. Cement producing enterprises (cement clinker in rotary kilns or other furnaces with design capacity of 500 tons per day or more) are classified as category I. These enterprises will be required to obtain integrated environmental permits (IEPs) and demonstrate compliance with the requirements of the best available technologies. Industry-specific ITR provide technological parameters for respective production operations which will be used as the basis for calculating the technological standards established by IEP.

Integrated environmental permit is a document issued by an authorized federal executive body to a legal entity or individual entrepreneur carrying out economic and (or) other activities at a facility that has a negative impact on the environment and contains mandatory environmental requirements [4].

The issuance of the IEP should begin as early as January 1, 2019. The first integrated environmental permits will be received by newly constructed (modernized) enterprises and 300 operating major enterprises, the so called "polluters" — objects having a negative impact on the environment and belonging to category I which share in total emissions and pollutant discharges in the Russian Federation is at least 60%. According to the Draft Order of the Ministry of Natural Resources (dated April 2016), five cement plants were included in the "List of 300": Petersburgcement, LLC; Katavsky Cement, JSC; Maltsovsky Cement, JSC; Sebryakovcement, JSC and HeidelbergCement Rus, LLC in Novogorovskiy settlement

- непрерывное автоматическое измерение СО в печных газах посредством использования оборудования с коротким временем отклика, расположенного вблизи источника образования СО.

Применение указанных технологических приемов позволит поддерживать выбросы СО из вращающихся печей на уровне не более 600 мг/нм³ газов.

НДТ 13. Для снижения и минимизации уровня шума рекомендуется осуществить следующие технологические мероприятия:

- выбор подходящего места для выполнения шумных операций;
- ограждение шумных операций (агрегатов);
- виброизоляция шумящих агрегатов;
- звукоизоляция зданий, в которых размещается оборудование с высоким уровнем шума;
- установка звукозащитных стен и природных звукозащитных барьеров;
- применение глушителей на газоотводящих трубах;
- звукоизоляция газовых каналов и вентиляторов;
- закрытие дверей и окон в цехах и помещениях;
- звукоизоляция стальных проемов путем установки шлюзов;
- установка звукопоглотителей в местах выброса газов;
- снижение скорости газовых потоков в каналах и газоходах;
- разделение источников шума и потенциально резонансных компонентов (например, компрессоров и воздухопроводов);
- использование звукоизолированных модулей в устройствах (например, компрессорах);
- возведение построек или посадка деревьев и кустов между защитной полосой и шумным производством и т.п.

НДТ 14. Разработка, реализация, поддержание в рабочем состоянии и постоянное выполнение требований системы экологического менеджмента (СЭМ).

НДТ 15. Регулярный мониторинг и измерение параметров и выбросов в соответствии со стандартами EN, ISO или национальными стандартами, гарантирующими соответствие данных научно обоснованным критериям, включая:

- непрерывные измерения параметров, свидетельствующих о стабильности процесса;
- мониторинг и стабилизация критических параметров процесса: однородный и постоянный состав сырьевой смеси, топлива, равномерная подача топлива в печь, необходимый коэффициент избытка воздуха в печи;
- периодические замеры выбросов пыли, NO_x, SO₂ в соответствии с графиком производственного контроля.

(names of the enterprises are given as in the Draft Order of the Ministry of Natural Resources).

Currently the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation is developing the "Procedure for issuing integrated environmental permits, their re-issuance, revision, amendment, and revocation". As part of paragraph 94 implementation of the "Main activities Plan for the Ecology Year 2017 in the Russian Federation" approved by the Government of the Russian Federation of June 2, 2016 No. 1082-р, national enterprises hold events in "Business games" format to develop the order and procedures for issuing IEP in the framework of the draft document being developed. The business games development and conduct is entrusted to the Russian BAT Bureau. These activities are aimed at advance informing of the industry about the changes in the environmental regulation procedures, as well as creating a uniform knowledge of the procedures for obtaining IEP by the industry and regulatory authorities in the subjects of the Russian Federation.

At the end of 2016, six business games were held including two games at cement production plants: Serebryansky Cement Plant, LLC and branch of Heidelberg Cement Rus, LLC in Novogurovsky village.

The employees of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, BAT Bureau, territorial bodies of the federal executive bodies, experts from industrial enterprises, consulting companies, higher educational institutions, professional media and public organizations, as well as the Russian-German project "Climatically neutral economic activity. Implementation of BAT in the Russian Federation" (further referred to as "the Project") took part in each business game.

The project is implemented within the framework of the German Initiative for Climate Technology (DKTI) and the International Climate Protection Initiative (IKI). The main objective of the program is to contribute to climate — and environment friendly technologies promotion in accordance with the EU Directives on Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) and Industrial Emissions (IED). The project is aimed at creating favourable framework conditions for BAT introduction in the Russian Federation by building administrative and professional capacity and raising the specialists' awareness. It is also focused on developing German-Russian cooperation in the sphere of technology, as well as at supporting the process of the national standardization system documents development in the sphere of the best available techniques in the selected industries. Petrochemical industry, mining and cement production have been identified as pilot trends for the practical activities of the project.

The conducted business games helped to identify interested parties and to discuss with them approaches to the preparation and consideration of applications for integrated environmental permits, and also to receive feedback and take reasoned decisions.

ИТС подчеркивает, что применение той или иной НДТ должно быть экономически целесообразным и увязанным с достигаемым в случае ее реализации результатом.

Как уже было сказано выше, в соответствии с Федеральным законом от 21.07.14 № 219-ФЗ, в Российской Федерации осуществляется переход к технологическому нормированию в охране окружающей среды. Прежде всего, это касается крупных предприятий ключевых отраслей экономики, оказывающих значительное воздействие на окружающую среду, отнесенных к объектам I категории [7]. Предприятия по производству цемента (цементного клинкера во вращающихся печах или других печах с проектной мощностью 500 т/сут. и более) отнесены к I категории. Эти предприятия будут обязаны получать комплексные экологические разрешения (КЭР) и демонстрировать соответствие требованиям наилучших доступных технологий. В отраслевых ИТС приведены технологические показатели для соответствующих производств. Именно они будут положены в основу расчета технологических нормативов, устанавливаемых КЭР.

Комплексное экологическое разрешение — документ, который выдается уполномоченным федеральным органом исполнительной власти юридическому лицу или индивидуальному предпринимателю, осуществляющим хозяйственную и (или) иную деятельность на объекте, оказывающем негативное воздействие на окружающую среду, и содержит обязательные для выполнения требования в области охраны окружающей среды [4].

Выдача КЭР должна начаться уже с 1 января 2019 г. Первыми комплексные экологические разрешения будут получать вновь построенные (модернизированные) предприятия и 300 действующих крупнейших предприятий — «загрязнителей» — объектов, оказывающих негативное влияние на окружающую среду, относящихся к I категории, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы загрязняющих веществ в Российской Федерации составляет не менее 60%. Согласно Проекту Приказа Минприроды (апрель 2016 г.) в «список 300» попали пять цементных заводов: ООО «Петербургцемент», АО «Катавский цемент», АО «Мальцовский цемент», АО «Себряковцемент» и ООО «ХайдельбергЦемент Рус» в п. Новогуровский (название предприятий дано, как в Проекте Приказа Минприроды).

В настоящее время Минприроды России разрабатывает «Порядок выдачи комплексных экологических разрешений, их переоформления, пересмотра, внесения в них изменений, а также отзыва». В рамках реализации п. 94 «Плана основных мероприятий по проведению в 2017 г. в Российской Федерации Года экологии», утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 июня 2016 г. № 1082-р, на отечественных предприятиях проводятся мероприятия в формате «деловых игр» по разработке порядка и процедур выдачи КЭР в рамках разрабатываемого проекта документа. Разработка и

As a result, key aspects were identified. Their consideration will contribute to creation of a common understanding of domestic industry transition to the state regulation based on the BAT principles. The most discussed aspects were public opinion consideration in the process of IEP issuing, and procedure for IEP materials coordination by the executive bodies.

References // Литература:

1. Федеральный Закон от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изм. от 3.07.2016 г.).
2. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide, Available at <http://www.enofis.com.tr/mevzuat/ab/Cement%20BAT%202013.pdf> (accessed 5 February 2017).
3. ИТС 6-2015. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство цемента. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=496&etkstructure_id=1872
4. ПНСТ 22-2014. НДТ. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=332&etkstructure_id=1872
5. Сивков С.П., Потанова Е.Н. Критерии выбора маркеров в справочном документе по НДТ при производстве цемента // Наилучшие доступные технологии. Определение маркерных веществ в различных отраслях промышленности. Сборник статей № 3. М.: Издательство Перо, 2015. С. 116–125. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.burondt.ru/informacziya/publikacziipublikacziya.html?PublishingType=2>
6. Sivkov S., Potanova E. Selecting environmental marker parameter for the reference book on best available techniques of cement production. XVI International Multidisciplinary scientific Geoconference SGEM 2016. Albena, Bulgaria, 2016. Book 5, Vol. 2. P. 727–734.
7. Постановление Правительства РФ от 28 сентября 2015 г. № 1029 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на ОС, к объектам I, II, III и IV категорий».
8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 2 июня 2016 г. № 1082-р «План основных мероприятий по проведению в 2017 году в Российской Федерации Года экологии».

проведение деловых игр поручена российскому Бюро НДТ. Эти мероприятия направлены на заблаговременное информирование промышленности об изменениях порядка регулирования в природоохранной сфере, а также создание единого понимания процедур получения КЭР промышленностью и контрольно-надзорными органами в субъектах Российской Федерации.

На конец 2016 г. проведено шесть деловых игр, в том числе две — на предприятиях по производству цемента: ООО «Серебрянский цементный завод» и Филиал ООО «Хайдельберг Цемент Рус» в пос. Новоуровский.

В каждой деловой игре принимали участие сотрудники Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Бюро НДТ, территориальных органов федеральной исполнительной власти, специалисты промышленных предприятий, консультационных компаний, высших учебных заведений, профессиональных СМИ и общественных организаций, а также российско-германского проекта «Климатически нейтральная хозяйственная деятельность. Внедрение НДТ в РФ» (далее — Проект).

Проект осуществляется в рамках программы Германской Инициативы по Климатосберегающим Технологиям (DKTI) и Международной Инициативы по защите Климата (IKI). Основной целью программы является вклад в распространение безопасных для климата и окружающей среды технологий в соответствии с Директивами ЕС о комплексном контроле и предотвращении загрязнений (IPPC) и о промышленных выбросах (IED). Проект направлен на создание благоприятных рамочных условий для внедрения НДТ в Российской Федерации за счет наращивания административного и профессионального потенциала и повышения осведомленности специалистов. Кроме того, целью проекта является развитие германо-российского сотрудничества в сфере технологий, а также поддержка процесса разработки документов национальной системы стандартизации в сфере наилучших доступных технологий в выбранных отраслях. В качестве пилотных направлений для практической деятельности проекта определены нефтехимическая промышленность, горнодобывающая промышленность и производство цемента.

Проведенные деловые игры позволили установить заинтересованные стороны, обсудить с ними подходы к подготовке и рассмотрению заявок на комплексные экологические разрешения, получить отклики и принять обоснованные решения.

В результате были определены ключевые аспекты, рассмотрение которых будет способствовать созданию общего понимания перехода отечественной промышленности на государственное регулирование, основанное на принципах НДТ. Наиболее обсуждаемыми аспектами стали порядок учета мнения общественности в процессе выдачи КЭР, участие и порядок согласования материалов КЭР органами исполнительной власти.



¹Dr. Zlatev, M., Sales Director, Haver Niagara GmbH, Germany,

²Grotjohann, P., Executive Director, Haver Niagara GmbH, Germany

CEMENT PLANTS MODERNIZATION PROSPECTS IN TERMS OF INNOVATIVE CRUSHING AND GRINDING SOLUTIONS



¹Златев М., руководитель продаж компании Haver Niagara GmbH, Германия,

²Гротйоханн П., исполнительный директор компании Haver Niagara GmbH, Германия

ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДРОБЛЕНИЯ И ПОМОЛА

Abstract

The article investigates cement production process: from raw material (limestone) to end-product considering modern technologies allowing to reduce energy consumption of the production process and optimize quality of produced cement. In this context, a successful German experience is shown in terms of creation of a cement plant of the future. The used innovative solutions allow for the cement plant the highly flexible adaptation to the future demands for cement products and dry mortar.

Key words: *production process, raw material processing, cement, innovative solutions, energy efficiency, grinding*

Modern investigations in the field of cement production are mainly focused on the following items:

- Reducing energy consumption in cement production;
- Optimizing quality and uniformity of produced cement;
- Minimizing emissions from the cement-production process [1], [2].

Previous experience proves that cement production and sales are subject to local and regional market fluctuations. To eliminate any effect of such dependence, cement industry and mine-mill equipment manufacturers need to solve the following tasks:

- Resources utilization and storage effectiveness improvement;
- Extending the range of sellable product by installing specialized technology within the territory or in mediate vicinity of the cement plant.

Аннотация

В статье проводится анализ процесса производства цемента: от исходного сырья (известняка) до получения конечного продукта на основе новых технологий, позволяющих обеспечить сокращение энергоёмкости производственного процесса и оптимизации качества продукции. Представлен положительный опыт Германии по созданию современных цементных заводов нового типа. Инновационные решения открывают новые возможности и позволяют цементным заводам гибко реагировать на изменение спроса на рынке цемента и сухих строительных смесей.

Ключевые слова: *производственный процесс, переработка сырья, цемент, инновационные решения, энергоэффективность, помол*

Современные исследования технологических процессов цементных производств проводятся прежде всего для решения следующих задач:

- сокращение энергопотребления при производстве цемента;
- оптимизация качества и однородности производимого цемента;
- минимизация выбросов в процессе производства цемента [1], [2].

Опыт показывает, что производство и сбыт цемента могут сильно зависеть от конъюнктурных колебаний и ситуации на региональных рынках. Для преодоления последствий этой зависимости цементная отрасль и производители горно-обогатительного оборудования должны решить следующие задачи:

- повышение эффективности добычи сырья из источников природных месторождений;

This task necessitates a conversion analysis for the raw materials within the cement-production process, from limestone to cement. The analysis considers new production segments and equipment.

As **Figure 1a** shows, a mixture consisting of limestone (approx. 70 to 80% by mass) and clay/marl (approx. 20 to 30% by mass) present in native form in many natural deposits for cement raw materials [2] is the starting point for cement production. Depending on the chemical composition of the raw material deposit, further components such as iron ore or sand must be added. Following excavation by means of drilling and blasting or heavy equipment, the material is conveyed to the crushing plant where the ROM material is subjected to pre-crushing (using impact or hammer crushers, for example), and is then further homogenized. Grinding to raw meal using vertical roller or ball mills follows in the raw meal plant. The raw meal is then deacidified in the clinker plant by breaking down the CaCO_3 limestone into its CaO and CO_2 components.

Burning at approx. 1450 °C in the rotary kiln then takes place until sintering occurs. After cooling, the

- расширение ассортимента продукции за счет установки дополнительного обогатительного оборудования на территории или в непосредственной близости от цементного завода.

Для решения этих задач необходимо провести исследование всего процесса производства: от исходного сырья (известняка) до получения конечного продукта (цемента), а также новых сегментов производства и применяемого оборудования.

Как видно из **рис. 1a**, сырьевой материал представляет собой смесь известняка (примерно 70–80 масс. %) и глины/мергеля (примерно 20–30 масс. %), которые присутствуют во многих месторождениях в естественном состоянии [2]. В зависимости от химического состава сырья конкретного месторождения применяются корректирующие добавки (например, железная руда или песок). После этапа горной добычи буровзрывным или экскаваторным способом следует транспортировка на щебеночный завод, где горная масса подвергается первичному дроблению (например, ударно-отражательной или молотковой дробилкой) и гомогенизации. Затем

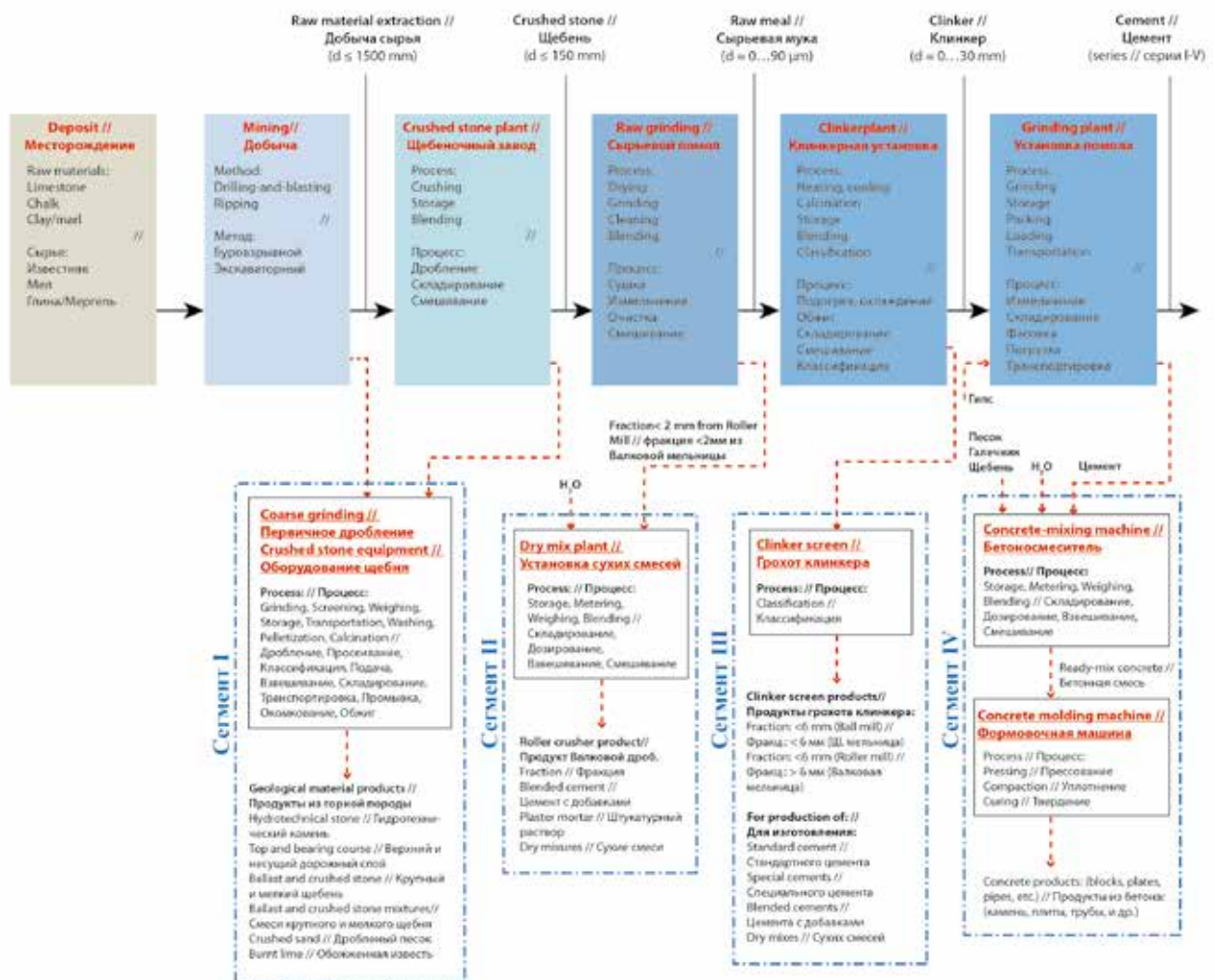


Fig. 1. Greatly simplified diagram of cement production, showing segmentation

Рис. 1. Упрощенная схема производства цемента по сегментам

cement clinker is ground in the cement grinding plant while sulphates (e.g. gypsum) are added to yield various grades of fineness (cement qualities). Deliveries of cement take place primarily by means of shipment in silo vehicles or in bags, by water, rail and/or road transportation. The ready-mixed concrete industry (approx. 52%), and the manufacturers of pre-cast concrete elements (approx. 26%) are among the main customers for cement. The cement-production process is always dependent on the proximity of a suitable natural raw material deposit.

The most typical rock used in cement industry is limestone sedimentary rock. It is also widely used

производится тонкий помол материала в валковых или шаровых мельницах до сырьевой муки. Сырьевая мука раскисляется (нейтрализуется) в клинкерной установке, а кальцит ($CaCO_3$) распадается на два компонента: CaO и CO_2 .

Затем происходит обжиг при температуре около $+1450\text{ }^{\circ}C$ во вращающейся печи для спекания. После охлаждения цементный клинкер измельчают с добавлением, например, двуводного гипса для получения цемента различной тонкости помола. Готовая продукция отгружается потребителям железнодорожным, морским или автомобильным

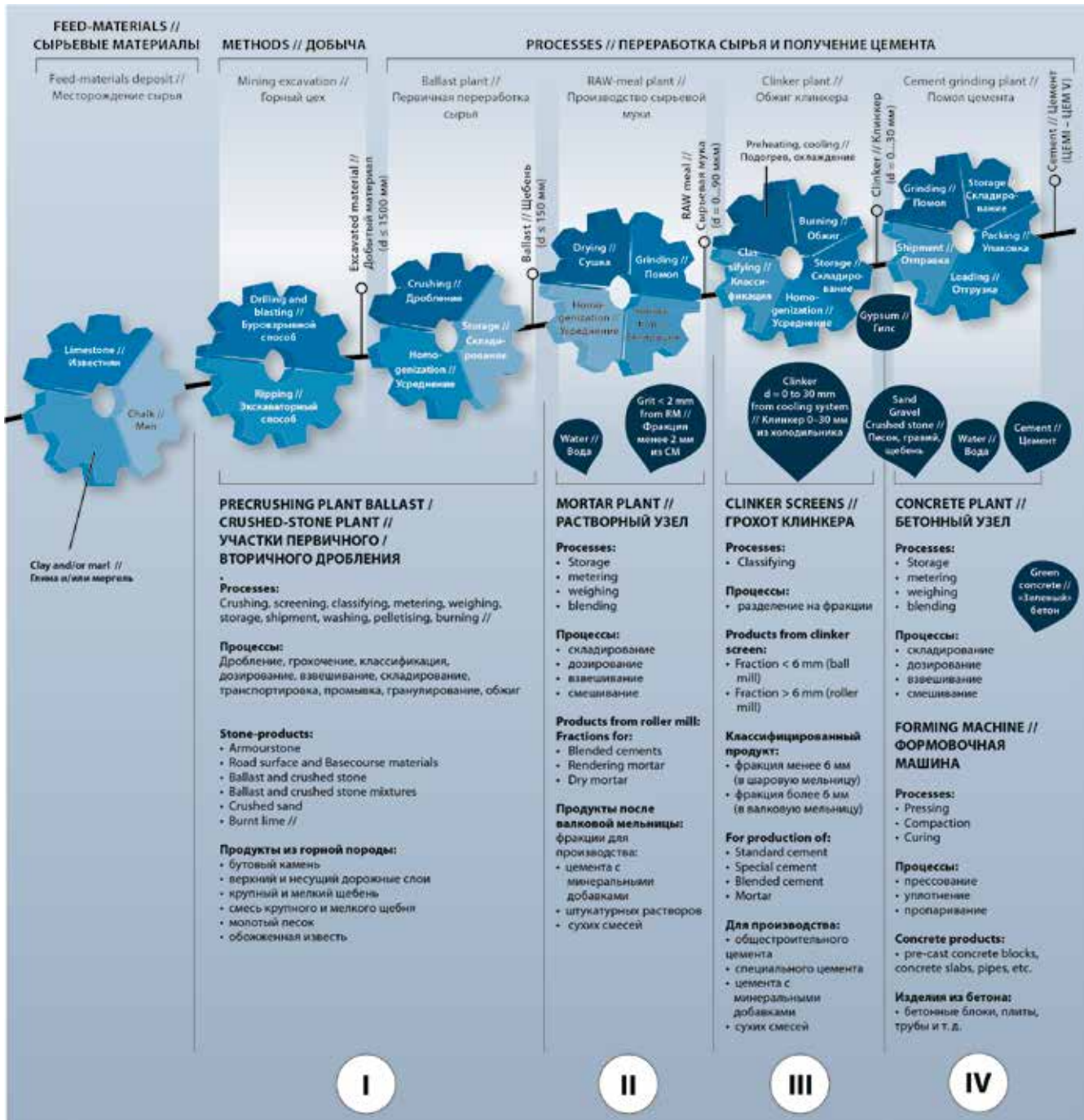


Fig. 1a. Greatly simplified diagram of cement production, showing innovation clusters

Рис. 1а. Упрощенная схема производства цемента по инновационным производственным этапам

in the building materials industry, agriculture, water management, steel, glass, fertilizers and paper industries.

By now, limestone deposit products are quarried and sold by mining companies (e.g., by crushed stone plants).

The concept of further using the cement plants' material deposits more intensively is therefore an obvious step in improving the efficiency of natural deposit exploitation.

Special attention should be paid making use of existing overcapacities in the cement plants' material deposits. Frequently encountered deposit types, which are not suitable for cement production, should be transformed to sellable products by removing impurities.

In both cases after the primary and/or secondary crushing stages, a portion of the mineral can be used for producing various stone products such as crushed stone and/or gravel.

Seeking a solution one can draw to the German experience. Mining machinery plants of Germany elaborate customized solutions for their customers from cement, mineral chemical, food, feed and raw materials industries.

A new pre-crushing plant with an integrated armourstone production was engineered and constructed at the Kleinhammer greywacke quarry in Germany's Sauerland region in the 2012–2013 period [4].

The scope of supply included not only armourstone production facility, but also all conveying equipment, temporary-storage and dust silos, structural planning and complete installation.

An example of flexible production is provided by the armourstone facility for hydraulic engineering, on which the 4 to 40 kg and 10 to 60 kg weight classes can



Fig. 2. 3D view of the pre-crushing plant with an integrated armourstone production

Рис. 2. Проектное 3D изображение дробильного комплекса с оборудованием для производства блоков для гидротехнических сооружений

транспортом. Главными потребителями цемента являются производители товарного бетона (примерно 52%) и железобетонных изделий (примерно 26%). Таким образом, можно утверждать, что процесс производства цемента всегда связан с наличием соответствующего сырья.

Самым распространенным типом горных пород, используемых в цементной промышленности, являются осадочные породы известняка. Кроме того, они являются важным сырьем для строительной индустрии, сельского хозяйства, дренажных работ, а также используются в производстве стали, стекла, удобрений и целлюлозно-бумажной промышленности.

В настоящее время продукция разработки месторождений известняка добывается и реализуется горными предприятиями (например, щебеночными заводами).

Для повышения эффективности разработки месторождений требуется более интенсивное использование запасов минерального сырья цементными заводами. Особое внимание должно уделяться избытку запасов сырья, находящемуся в хранилищах цементных заводов. Сырье, наиболее востребованное, но не пригодное для производства цемента, необходимо очистить от примесей и использовать для продажи.

В обоих случаях часть породы при первичном или вторичном дроблении может использоваться для производства таких продуктов, как щебень или гравий.

В поисках возможного решения данной проблемы можно обратиться к успешно реализуемому немецкому опыту. В Германии заводы горного оборудования разрабатывают индивидуальные проекты для своих клиентов из области цементной, минеральной, химической, пищевой, кормовой, а также сырьевой промышленности.





Fig. 3. Eccentric screening machine

Рис. 3. Грохот тяжелого типа с эксцентрическим валом

be produced singly or simultaneously as needed by means of two heavy-duty mechanical screens (see Fig. 3).

Implementation time for the complete plant from start to commissioning was only some twelve months.

More details can be seen in Fig. 4.

In summer 2015 a supply contract with the same customer in the framework of even a larger project was concluded.

В 2012–2013 гг. в карьере твердых горных пород местности Kleinhammer (Sauerland) спроектирован и построен новый дробильный комплекс с интегрированным производством блочного камня для гидротехнических сооружений [4].

Структуру комплекса составляют грохот для крупного грохочения и установка для производства камня для гидротехнических сооружений, а также подъемно-транспортная техника, промежуточный бункер и силос пылеудаления. При этом сборка капитальных сооружений осуществлялась по заранее согласованному проекту.

Примером интегрированного производства служит использование установки выработки блочного камня для гидротехнических сооружений. При необходимости с помощью двух грохотов тяжелого типа можно одновременно или по отдельности производить сортировку по весовым классам 4–40 кг и 10–60 кг (см. рис. 3).

Общий период реализации данного проекта от начала до ввода в эксплуатацию составил всего около 12 месяцев.

Более подробная информация по технологической схеме установки представлена на рис. 4.

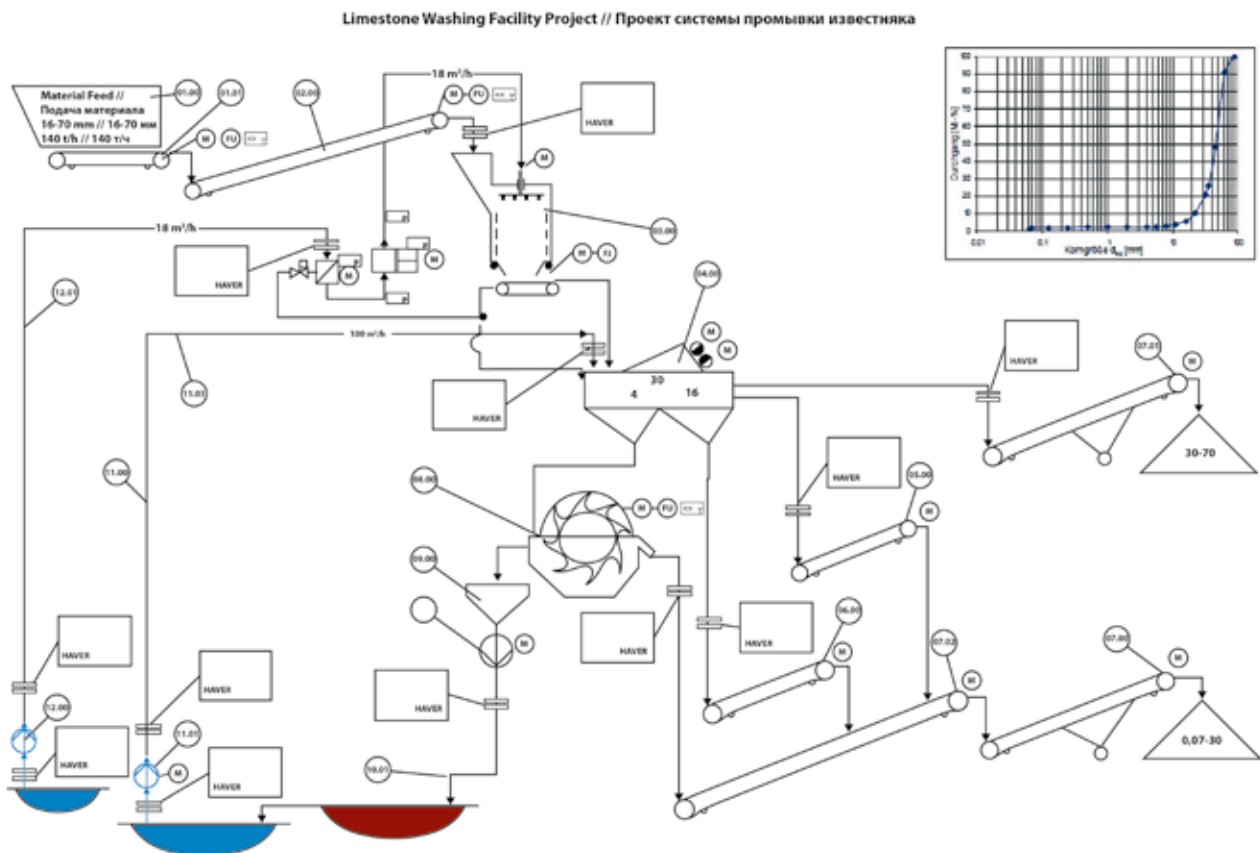


Fig. 4. Equipment flow sheet

Рис. 4. Технологическая схема оборудования

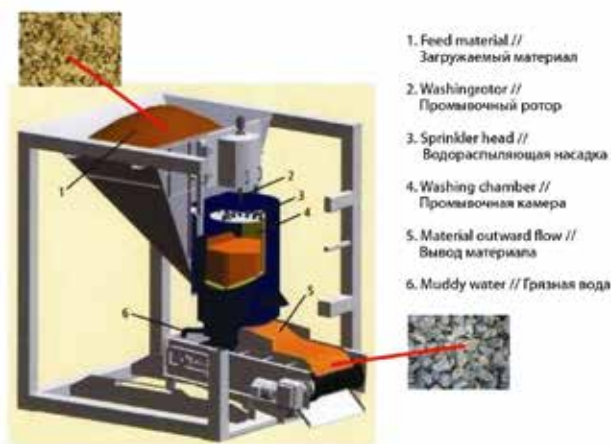


Fig. 5. Washing tower principal diagram

Рис. 5. Принципиальная схема промывочной установки

An additional application for limestone is the production of burnt lime. Burnt lime (CaO) is a powder produced by burning limestone at approx. $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Burnt lime reacts with heat to form slaked lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) when water is added. Burnt and slaked lime are used by a broad range of industries. For example it is used as an additive for the production of mortar in the construction industry, as agricultural lime in the fertilizer industry, and for desulphurization of “hot metal” (unrefined iron from the blast furnace) in the steel industry.

Slaked lime can also be used as an alternative to limestone in flue-gas desulphurization in power-generating plants [1], [2], [3].

The start-up of a low-wear, energy-efficient and resource-conserving high-pressure washing facility for the supply of high-quality limestone fractions for further processing took place at Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH's Peggau plant near the city of Graz/Austria in 2009–2010 [7].

The high-pressure washer indicated in Fig. 5 was used for cleaning of the heavily fouled deposit material and has shown extremely good cleaning results with a water consumption of only 1.5 m^3 per metric ton.

The material is exposed to cleaning in the washing chamber (4) for approx. 3–8 seconds. It is then removed from the washing chamber via a frequency-controlled extraction belt (5). The material's exposure period can be modified to match the bonding (e.g. bond form, bond type and bond strength) between the contaminant and the product itself by altering the speed of the extraction belt.

This makes it possible to react flexibly to fluctuations in deposit material, and so ensure constant uniform cleaning for prolonged periods of operation. A wet screen for production of the 0–5 mm, 5–30 mm and 30–70 mm fractions was also used in the material preparation plant, in addition to the installed high-pressure washing system. After washing the coarser 30–70 mm fraction is routed to the burnt-lime kiln while

Летом 2015 г. был заключен договор на поставку в рамках еще более крупного проекта.

Осадочные породы известняка также широко используются для производства негашеной извести (CaO), которая представляет собой порошок, получаемый путем обжига известняка при температуре $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. При добавлении воды негашеная известь вступает в химическую реакцию с выделением большого количества тепла и переходит в гашеную известь ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Такая известь используется в различных отраслях промышленности, например в строительной отрасли, в качестве добавки для изготовления сухих строительных смесей, производстве известковых удобрений или в качестве флюсовых добавок в сталелитейной промышленности для десульфуризации доменного чугуна.

Кроме того, гашеная известь может использоваться в качестве альтернативы известняка при десульфуризации дымовых газов тепловых электростанций [1], [2], [3].

В 2009–2010 гг. в г. Пеггау построен завод по производству щебня Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH, на котором используется износоустойчивая, энергоэффективная, ресурсосберегающая промывочная система высокого давления, позволяющая производить высококачественный известняк различных фракций для дальнейшего обогащения [7].

Для промывки сильно загрязненного сырья (см. рис. 5) применялась установка высокого давления с расходом всего $1,5\text{ m}^3$ воды на тонну загружаемого материала, которая продемонстрировала отличные результаты очистки.

Материал загружается в промывочную камеру (4) в течение приблизительно 3–8 сек. Вывод материала из камеры происходит с помощью ленточного конвейера с частотно-регулируемым приводом (5). При изменении скорости движения ленты достигается высокая скорость очистки, т.к. удается учитывать такие особенности материалов, как форма, тип и прочность. Таким образом, ценный материал эффективно отделяется от нежелательных примесей, и регулируется качество промывки.

Все это позволило учитывать физико-механические свойства сырья, добываемого на различных участках месторождения, и обеспечивать равномерную очистку материала. В дополнение к данной установке применяется промывочный грохот мокрого грохочения для получения фракций 0–5 мм, 5–30 мм и 30–70 мм. После промывки крупная фракция 30–70 мм загружается в известеобжигательную печь, а мелкая – используется для приготовления сухих смесей. Используемую для процесса промывки воду очищают в водоочистительной установке и подают снова в замкнутый цикл очистки материала. При этом в качестве корректирующего материала в производстве клинкера используется прессованная глина. В последние годы при создании цементных заводов нового типа стали активно применяться валково-тарельчатые мельницы [5], [6].

the finer fractions are used for producing dry mortar. The resulting washing water is then cleaned by a water-treatment plant and again fed back into the closed washing process. Loam yielded in this process is routed as a corrective to a clinker production plant. Over recent years, vertical mills application, when building “the cement plant of the future”, has gained further development[5], [6].

By now, vertical mills with integrated cyclone (separator) for the ready product are the most typical equipment to produce raw material meal. Fine fraction content is subject to adjustment through cyclone (separator) rotation speed regulation. Up to date mills have special discharge device for coarse fraction (0–2 mm) downstream of separator located inside the mill.

Limestone grit, e.g. of the 0.1–1.2 mm fractions, is an optimum raw material for further processing into typical fine-sand fractions that are needed for blended cement, render and dry mortar production. **Figure 6** shows a system diagram for grit-fraction preparation.

Downstream from the raw-meal mill the limestone grit is sifted (removal of the ultra-fine particulates fraction < 0.09 mm from the material flow) in a classifier and then is fed to the mechanical fine screens for separation into fractions.

Fractions of $d < 2$ mm can be used for flue-gas desulphurization, as dry mortar, and cement additives.

It has become apparent in practical application that the use of the Fine-Line Screening Technology (see **Fig. 7**) and screening of limestone fine fraction with a high

Для производства сырьевой муки обычно применяются валково-тарельчатые мельницы с интегрированным циклоном-сепаратором для готового продукта, в которых допустимое количество тонкой фракции регулируется с помощью изменения частоты вращения циклона-сепаратора. Современные валково-тарельчатые мельницы имеют специальную установку для вывода крупной фракции (0–2 мм) после прохождения сепаратора, находящегося внутри мельницы.

Например, известковая мелочь с размером частиц 0,1–1,2 мм является идеальным исходным материалом для дальнейшей обработки мелких фракций песка, к примеру, для изготовления цемента с добавками или для приготовления штукатурки и сухих смесей. На **рис. 6** показана схема оборудования для обогащения мелочи.

После мельницы для помола сырьевой муки мелкая фракция известняка отсеивается в сепараторе (удаление тонких пылевидных частиц < 0,09 мм из потока материала) и направляется на грохоты тонкого грохочения для разделения на фракции.

Частицы размером $d < 2$ мм могут использоваться для десульфуризации дымовых газов, а также для сухих смесей и добавок к цементу.

Практическое применение показало, что при использовании грохотов тонкого грохочения (**рис. 7**) и отсеивании мелкой фракции известняка возможно

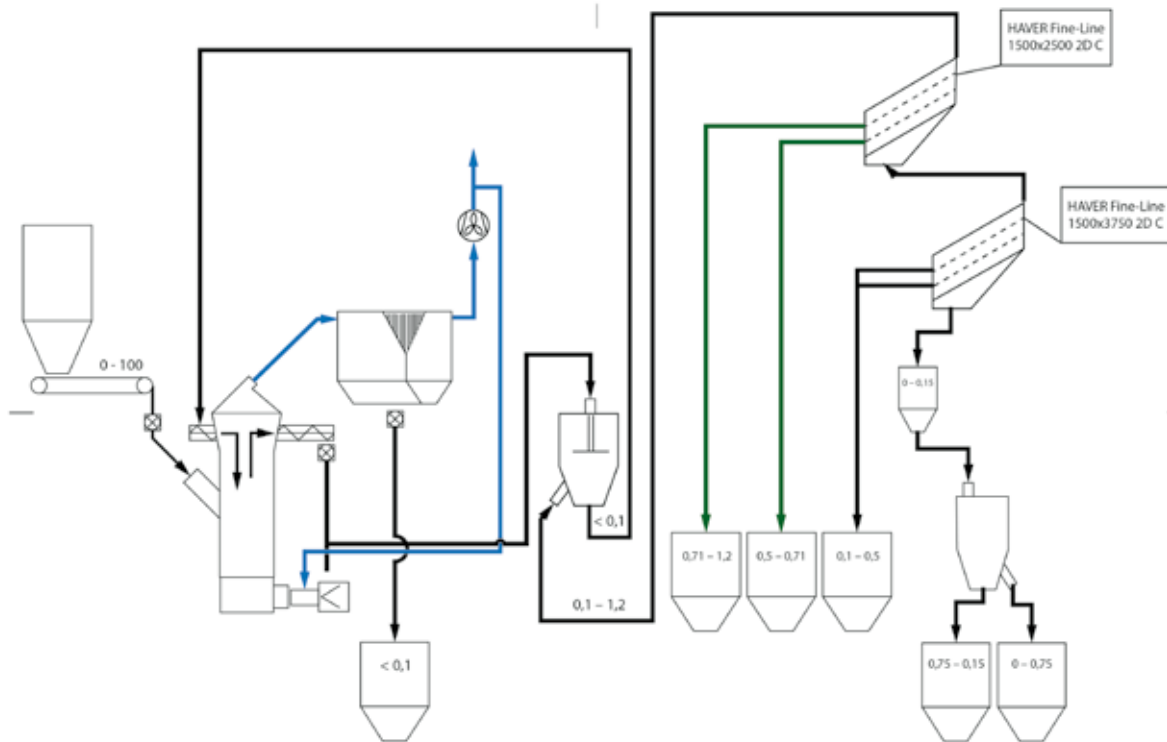


Fig. 6. System diagram for grit-fraction preparation

Рис. 6. Схема оборудования для обогащения мелочи



Fig. 7. Fine-fraction mechanical screens

Рис. 7. Грохоты тонкого грохочения с прямым возбуждением сита

processing capacity ensure good quality of the cut points to produce dry mix products (see Fig. 1a, Cluster II).

One of the main initial tasks to create the cement plant of the future is the screening clinker downstream with separate grinding project sizes (see Fig. 1a, Cluster III). The starting point for these ideas was generation of clinker fines as a result of the rapid cooling setting properties of the cement (at the temperature of +1450 °C) after discharging from the tubular rotary kiln and further pouring to the series-connected grate cooler (with cooling level up to +100 °C) [8]. It is known that clinker cooling speed affects the crystallization conditions and clinker glassy phase, and consequently, influences the cement hydraulic setting properties. The cooled clinker is then routed via conveying systems to the clinker storage facility. The cooling and conveying process resulting from the system causes clinker fines fraction < 5 mm of up to 30%.

Ball mills have proven their capabilities for clinker grinding for many years.

High energy demand of such mills could be decreased by combined crushing with high pressure grinding rollers.

Single-stage grinding using vertical and horizontal mills and high-pressure roller mills has also become popular during recent years.

Comparing to the ball mills, such grinding method saves up to 40% of energy.

These mills are suitable for production of standard cement grades.

In granulometric terms, special grades can still be produced to a higher quality by using ball mills.

These and other economically determined factors suggest that both ball and roller mills will continue be equally used to grind clinker.

Based on an energy analysis, it would therefore appear rational to comminute various clinker fractions in separate grinding machines.

производить большое количество известняковой крошки для производства сухих смесей, а также обеспечить четкое разделение на фракции по размеру частиц (рис. 1a, II).

Одной из главных задач для создания цементного завода нового типа является просеивание клинкера с помощью установки для раздельного помола (рис. 1a, III). Актуальность этого решения обусловливается образованием мелких частиц клинкера после выхода из вращающейся печи (при температуре +1450 °C) в процессе быстрого охлаждения в колосниковом холодильнике (примерно до +100 °C) [8]. Известно, что скорость охлаждения клинкера влияет на условия кристаллизации и стекловидной фазы, а значит, и на гидравлические свойства цемента при твердении. Охлажденный клинкер с помощью конвейера транспортируется на клинкерный склад. В результате охлаждения и транспортировки до 30% материала составляет клинкер фракции < 5 мм.

На протяжении многих лет для помола клинкера применялись хорошо зарекомендовавшие себя шаровые мельницы.



Fig. 8. Diagram in principle of clinker screening with downstream separate grinding

Рис. 8. Принципиальная схема просеивания клинкера с последующим раздельным помолом



Fig. 9. Clinker screen with 2 heads

Рис. 9. Грохот клинкера с двумя деками

As is shown in **Fig. 9**, the best clinker classification with high quality cut point of coarse and fine fraction is provided by the relevant screens.

To obtain energy benefits, the coarse fraction is routed to a roller mill for further grinding, and the fine fraction to a ball mill.

This achieves an overall increase in specific throughput rate with a simultaneous improvement in the energy-efficiency of the grinding process.

The energy savings attained via separate grinding can be as large as 10%.

Further advantages include quieter operation and low wear to the vertical roller mill.

Modern innovative solutions open new opportunities and allow the cement plant to be flexibly responding to changes in demand at the market of standard, special cement, cement with admixtures, and other types of cement, as well as dry mixtures. In conclusion, we would like to mention the prospects of mutually beneficial cooperation for cement and concrete plants (see **Fig. 1a**, Clusters I and IV).

Locating concrete production and processing in the vicinity of a cement plant could reduce storage and transportation costs and increase the diversity of products available for regional sales.

References // Литература

1. ZKG-Handbuch Zementanlagenbau 2013/2014 – Leitfaden für Einsteiger in die Zementindustrie. Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, 2013.
2. Verfahrenstechnik der Zementherstellung. VDZ-Tätigkeitsbericht 2005–2007.
3. Zementrohstoffe in Deutschland – Geologie, Massenbilanz, Fallbeispiele. Bun desverband der Deutschen Zementindustrie e.V.; Verein Deutscher Zementwer – ke e.V. – Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2002.
4. Vorbrechanlage und Wasserbaustein-auf-bereitung im Sauerland. AT Mineral Processing 05/2015, S. 20–21.
5. Jung, O., Kraft, B. Hochleistungssichter für MPS-Walzenschüsselmühlen// Sonderdruck aus 58. Vol. (2005). № 6. S. 55–60.
6. Kotowski, C., Schnabel, U. Gleichzeitige Herstellung von Kalksteinmehl und Körnungen minus 1,2 mm mit einer MPS-Walzenschüsselmühle// ZKG INTER-NATIONAL. 2003. № 6. (Vol. 56). S. 73–75.
7. Plank, J. Einsatz einer Hochdruckwäsche im Werk Peggau der Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (firmeninternes Material).
8. Technische Unterlagen der HAVER NIAGARA GmbH, Münster.

Высокую энергоёмкость таких мельниц можно было бы снизить с помощью комбинированного помола валковыми прессами высокого давления.

Тем не менее сегодня существует тенденция одноступенчатого помола вертикальными и горизонтальными мельницами, а также валковыми прессами высокого давления.

По сравнению с шаровыми мельницами при таком способе помола экономия энергии составляет до 40%.

Мельницы такого типа также подходят для изготовления стандартного цемента.

Специальные сорта цемента с оптимальным гранулометрическим составом, как и ранее, изготавливаются в шаровых мельницах.

Эти и другие экономически обусловленные причины позволяют предположить, что и в дальнейшем для помола клинкера будут применяться в равной мере как шаровые, так и валковые мельницы.

Таким образом, с точки зрения экономии энергии, различные фракции клинкера имеет смысл измельчать отдельно.

Как показано на **рис. 9**, лучше всего классификация клинкера с качественной границей разделения грубой и тонкой фракции происходит в соответствующих грохотах.

Для достижения максимальной энергоэффективности помол грубой фракции осуществляется в валковой, а мелкой – в шаровой мельнице.

В результате этого увеличивается специфическая пропускная способность производства при одновременном улучшении энергоэффективности процесса помола.

Применение технологии раздельного помола позволяет достичь до 10% экономии энергии.

Дополнительные преимущества данного способа – это снижение уровня шума и меньший износ валково-тарельчатой мельницы.

Современные инновационные решения открывают новые возможности и позволяют цементному заводу гибко реагировать на изменение спроса на рынке цементов (стандартного, специального цемента, цементов с добавками и других видов), а также сухих смесей. В заключение следует отметить перспективу взаимовыгодного сотрудничества цементных и бетонных заводов (см. **рис. 1a**, I и IV).

Организация производства бетона и переработка сырьевых материалов на территории цементного завода может существенно снизить складские и транспортные затраты, а разнообразие продукции – значительно увеличить региональный сбыт цементного завода.

HAVER & BOECKER



NIAGARA

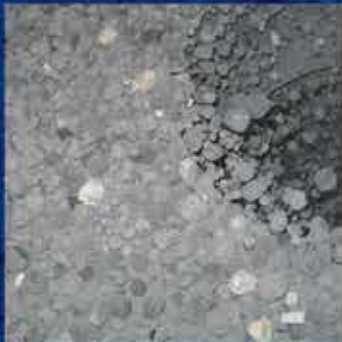
ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ХАВЕР НИАГАРА В ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



КОМПЛЕКСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СТАДИИ ПЕРВИЧНОГО ДРОБЛЕНИЯ



ГРОХОТА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛА
ПОСЛЕ МЕЛЬНИЦЫ НА ПРОИЗВОДСТВЕ СУХИХ
СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ



ГРОХОТА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ КЛИНКЕРА



ГРОХОТА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ
ГОТОВОГО ПРОДУКТА

HAVER NIAGARA GmbH
Robert-Bosch-Str. 6,
48153 Muenster, Germany

Tel : +49 251 9793-0
Fax: +49 251 9793-156
info@haverniagara.com

www.haverniagara.com



CemTest – AN INNOVATION IN CEMENT TESTING

CemTest – ИННОВАЦИИ В ТЕСТИРОВАНИИ ЦЕМЕНТА

Current compressive and flexural strength test methodologies on cement typically require a laboratory environment and equipment to cast, cure and then crush sample prisms over a 28-day period, which are laborious, time consuming and expensive.

UK based company has improved this situation with a unique solution, it has developed the technologies and algorithms of an accelerated method to test cement and fresh mixed concrete within minutes rather than 28 days.

CemTest is a small hand-held instrument requires only 15 grams of cement and 500 ml of de-ionised water to perform the test. It has drawn on over 30 years of experience from inventor Mr. A. Iromashvili and team to arrive at the precise testing procedure that takes few minutes.

It works by measuring the electrical conductivity of cement and water solution during the early hydration period, (60 seconds) using a purposely designed measuring probe.

Test doesn't require an environmentally controlled area, can be utilised both in the field and in the laboratory.

The UK Accreditation Services (UKAS) and the other independent Laboratory tests have confirmed that CemTest provides accurate results for CEM I and CEM II cement ranges typically within 5–7 % of BS EN 196-1 standards.

Please visit: www.cst instruments.com

Современные методы испытаний цемента на сжатие и изгиб, как правило, являются трудоемкими, требуют лабораторных условий и специального оборудования для формования, твердения и дальнейшего испытания образцов в возрасте 28 суток.

Британская компания разработала технологию и алгоритмы ускоренного метода испытания цемента и приготовленной бетонной смеси в течение нескольких минут, а не в течение 28 дней.

Метод простой и быстрый, используется компактный ручной прибор под названием **CemTest**. Для проведения теста необходимо 15 гр цемента и 500 мл деионизированной воды. Чтобы обеспечить точность процедуры тестирования, разработчики прибора опирались на более чем 30-летний опыт работы изобретателя А. Иромашвили и его группы.

Прибор осуществляет измерение электропроводности цемента/водного раствора в течение периода ранней гидратации (60 секунд) с использованием специально разработанного измерительного зонда.

Не требует специальных условий для измерений, поэтому его можно использовать как в полевых условиях, так и в лаборатории.

Служба аккредитации Великобритании (UKAS) и другие независимые лабораторные испытания подтвердили, что CemTest обеспечивает точные результаты в отношении цементных классов CEM I и CEM II, обычно в пределах 5–7 % от стандартов BS EN 196-1.



14. ULUSLARARASI INTERNATIONAL TEKNIK TECHNICAL SEMINER SEMINAR

10-13 OCAK / OCTOBER ANTALYA / TURKEY 2017

TÇMB 2017



Main Theme: Frugal Innovation

Concrete Roads, Concrete Barriers and Concrete Tunnels
Using of Alternative Fuel and Alternative Raw Material
Energy Optimization
Use of Renewable Energy

*Main Sponsors

Gala Dinner: **Ersel Ağır Makina**
Opening Cocktail: **GCP Uygulamalı Teknolojiler ve Yapı Kimyasalları**
Seminar Bags, Documents and Flash Drives: **REMSAN**
Networking Cocktail: **ABB**
Seminar Luncheon: **Aybars Makina**
Refreshment Breaks: **BP Petrolleri A.Ş. (Castrol)**
Lanyards: **CHRYSO**

*Session Sponsors

Sinoma Overseas Development Company
SIBILIA srl

Supported by:



*Media Sponsors



For details & register as participant

teknika@tcmb.org.tr



¹Kong Xiangming, Dr. Eng. Sc., Prof., ²Lu Zichen, Ph.D. candidate, Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing, China

INTERACTION BETWEEN POLYMER COLLOIDS AND PORTLAND CEMENT



¹Кун Сянмин, д-р техн. наук, проф., ²Лу Цзычэнь, канд. техн. наук, Университет Цинхуа, Факультет гражданского строительства, Пекин, Китай

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ С ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОМ

Abstract

An overview of interaction of different types of polymer colloids with Portland cement is provided, including the ethylene/vinyl acetate (EVA) polymers, styrene butadiene rubber (SBR) and styrene-acrylate copolymer (SA). Generally, all of these polymer colloids would retard the cement hydration and influence the hydration products. The working mechanism of SA polymer colloids with Portland cement is mainly discussed in this paper based on our previous research work. It is found that both the complexation of carboxyl group contained in the polymer with calcium ions and/or adsorption of the polymer particles on the surface of cement particles are the main causes for the retardation effect of polymer latexes on the cement hydration. In addition, instead of the main polymer composition in the core of polymer particles, the surface functionalization of polymer particles (the charge type and charge density) are decisive factors responsible for the described retardation effect. In-situ X-ray diffraction (XRD) results clearly show that polymer colloids with different surface property have similar effects on the silicate reaction in cement hydration but highly different effect on the aluminate reaction.

Key words: cement hydration, polymer colloid, adsorption, retardation, complexation

Introduction

Polymer dispersions are well-established cement modifiers and have been widely used in cementitious materials, known as polymer-modified mortar or concrete-polymer composite [1]. The composite is thus composed of two binders, polymer and cement. In the ideal case, both binders complement each other to result in a material with improved performance. Various properties of both fresh cementitious mixture and hardened material can be improved by the addition of a polymer dispersion. In fresh state, enhanced adhesion to substrates and lower tendency for bleeding are sought for when using polymer dispersions. In the hardened material an enhanced

Аннотация

В настоящей работе рассматривается взаимодействие с портландцементом различных полимерных коллоидных систем, включая полимеры этиленвинилацетата (ЭВА), бутадиен-стирольного каучука (БСК) и акрилат-стирольного сополимера (АСС). Данные полимерные коллоидные системы замедляют гидратацию цемента и влияют на продукты реакции. В статье в основном рассматривается механизм взаимодействия АСС в виде полимерных коллоидных систем с портландцементом с учетом результатов проведенных ранее исследований. Было установлено, что причина замедления гидратации цемента при введении полимерных латексов может быть связана как с образованием комплексов карбоксильной группы полимера с ионами кальция, так и с адсорбцией молекул полимера на поверхности частиц цемента. Помимо этого, решающую роль при замедлении гидратации играет не полимерный состав частиц латекса, а функционализация их поверхности (тип и плотность заряда). Результаты рентгеноструктурного анализа *in situ* показали, что полимерные коллоидные системы, включающие частицы с различными свойствами поверхности, оказывают сходное влияние на реакцию образования силикатов кальция при гидратации цемента, однако воздействие коллоидных систем на алюминаты значительно отличается в зависимости от состава.

Ключевые слова: гидратация цемента, полимерные коллоиды, адсорбция, замедление, комплексобразование

Введение

Полимерные латексные системы эффективны как добавки для цементных материалов, имеют давнюю историю применения и широко используются в производстве двухкомпонентных вяжущих на минерально-полимерной основе, известных как полимерцементные растворы или композитные материалы [1]. Таким образом, композитный материал

flexural strength, adhesive strength, ductility, cracking resistance, impermeability and durability can thus be achieved [2]. It is of utmost importance to understand how both binders interact in order to project what macroscopic properties the composite will exhibit.

Ethylene/vinyl acetate (EVA) polymers, styrene butadiene rubber (SBR) and the styrene-acrylate copolymer (SA) are the three commonly used commercial polymer colloids. It has been observed frequently that these polymer dispersions can lead to a retardation effect on cement hydration. As a result, the setting time and early strength growth can be severely retarded, which is undesired in the practical application. From this aspect, it is important to deeply understand the effect of polymer colloids on cement hydration.

This article summarizes the present knowledge and information of three different types of polymer colloids on the cement hydration and aims at disclosing the retardation mechanism of polymer dispersions on cement hydration.

1. Effect of polymer on cement hydration

1.1. Ethylene/vinyl acetate polymers

Ethylene/vinyl acetate copolymer is added to mortar and concrete during the preparation to improve some properties such as fracture toughness, impermeability and bond strength to various substrates [3]. Water-retention capacity and plasticity in the fresh state can be also improved.

By using techniques of FTIR, TGA and soft X-Ray microscopy, Silva [4,5] made an extensive research work on EVA-modified cement pastes. Through FTIR, besides some bands attributed to ethyl and acetate groups of EVA, the author found a new production band appears at 1558-1568 cm^{-1} as shown in Fig. 1, which does not appear in

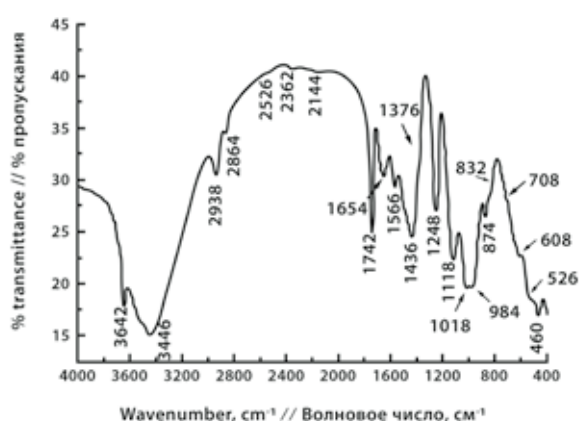


Fig. 1. Fourier-transform infrared spectrum of 20 % EVA-modified cement paste, 28 days old

Рис. 1. Инфракрасный спектр с Фурье-преобразованием 20 % цементного камня, модифицированного посредством ЭВА, в возрасте 28 дней

состоит из двух вяжущих: полимера и цемента. В идеальных условиях эти вяжущие функционально дополняют друг друга и позволяют получить материал с высокими рабочими показателями. Различные свойства цементного теста и цементного камня можно улучшить путем введения полимерных латексов. Эти добавки используются для повышения предела прочности при изгибе, прочности сцепления с основанием, деформативности, трещиностойкости, непроницаемости и износостойкости растворов, а также для снижения водоотделения растворной смеси [2]. Для прогнозирования макроскопических свойств композита важно понимать механизм взаимодействия составляющих двухкомпонентного вяжущего.

Полимеры этиленвинилацетата (ЭВА), бутадиен-стирольный каучук (БСК) и акрилат-стирольный сополимер (АСС) — наиболее распространенные полимерные коллоидные системы. Данные полимерные латексы замедляют гидратацию цемента, что подтверждено неоднократно исследованиями их влияния на сроки схватывания растворной смеси и кинетику набора прочности раствора. Эти сроки могут значительно увеличиться, что представляет собой нежелательный эффект в практике строительства, следовательно, необходимо глубокое понимание влияния полимерных коллоидных систем на процесс гидратации цемента.

В настоящей статье обобщены известные на сегодняшний момент данные о влиянии трех различных полимерных коллоидных систем на гидратацию цемента, а также информация о механизме замедления гидратации полимерными латексами.

1. Действие полимера на гидратацию цемента

1.1. Полимеры этиленвинилацетата

Сополимеры ЭВА вводятся в состав растворов и бетонов для повышения таких показателей, как вязкость разрушения и адгезионная прочность [3]. Водоудерживающая способность и подвижность растворной смеси также могут повышаться при введении ЭВА.

Используя методы инфракрасной спектроскопии с фурье-преобразованием (ИСФП), термогравиметрии (ТГМ) и микрорентгенографии с низким уровнем излучения, Д. Силва [4, 5] провела широкомасштабное исследование цементного теста, модифицированного сополимерами ЭВА. По результатам ИСФП автор, помимо некоторых полос, относящихся к этильной и ацетатной группам ЭВА, обнаружил новую рабочую полосу в пределах 1558–1568 cm^{-1} , (рис. 1), которой нет в спектре чистого сополимера ЭВА или немодифицированного гидратированного цементного теста. На основании данных дифференциально-термического (ДТА) и термогравиметрического (ТГ) анализа автор показал, что ЭВА значительно снижает температуру дегидратации и содержание гидроксида кальция (ГК). Указанные результаты свидетельствуют о химическом

the spectra of pure EVA copolymer or pure hydrated paste. Based on the DTA and TG curves, the author found that EVA strongly reduces the calcium hydroxide (CH) content and dehydration temperature. All of these findings clearly provide the evidences of chemical interaction of acid groups released by alkaline hydrolysis of EVA with Ca^{2+} ions in the pore solution of the cement pastes. With the same methods, Bettioli [6] evidenced that the hydrolysis of EVA took place within the first 15 min in fresh cement pastes, suggesting a rapid hydrolysis of EVA polymers.

1.2. Styrene butadiene rubber

Styrene butadiene rubber has been widely used for floor and bridge overlays, although the minimum thickness is usually about 30 mm. The advantages of SBR are excellent bond strength to concrete, higher flexural strength, and lower permeability. Wet curing is usually required for 24 ± 48 h to permit the concrete to gain strength prior to permitting the latex film to form [7].

SBR appears to low the cement hydration rate and broaden the heat evolution peak, but nearly have no chemical interaction with ordinary Portland cement [8]. J. Plank concluded [9, 10] that SBR with carboxyl group on the surface of polymer colloids generally retards both the aluminate and silicate reactions as shown in Fig. 2. This effect can be ascribed to the adsorption of SBR particles onto positively charged clinker or hydrated phases and the chelation of calcium ions presented in cement pore solution with the carboxyl groups on the surface of SBR.

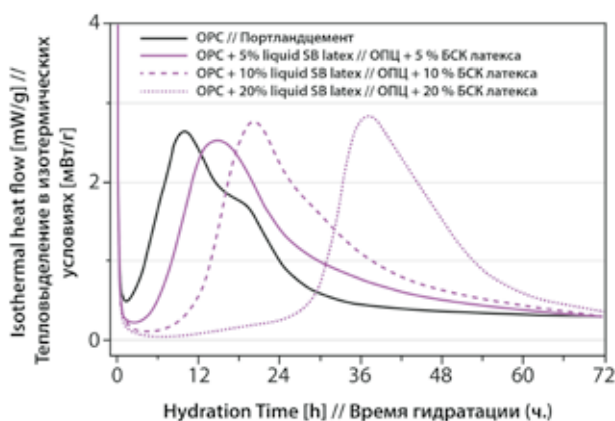


Fig. 2. Time-dependent heat flow of OPC pastes recorded in the presence and absence of liquid SBR latex (dosages: 5, 10 and 20 % bwoc)

Рис. 2. Зависимость тепловыделения цементного теста от времени, с добавкой (при содержании 5, 10 и 20 % от массы цемента) и без добавки БСК-латекса

The addition of SBR could affect the cement hydrates, such as $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ettringite, C_4AH_3 and C-S-H gel. It is found that the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content in wet-cured SBR-modified cement pastes increases with polymer-cement ratio (P/C) and reaches a maximum when P/C is 5%, 10% and 10% for the pastes hydrated for 3 d, 7 d and 28 d, respectively. With wet cure, appropriate addition of SBR promotes the hydration of cement, while the

взаимодействии кислотных групп, высвобождаемых в результате щелочного гидролиза ЭВА с ионами Ca^{2+} в поровом растворе цементного теста. Используя те же методы, А. Бетиоли [6] подтвердил, что гидролиз ЭВА действительно происходил в течение первых 15 минут в свежеприготовленном цементном тесте, что говорит о быстрой реакции гидролиза сополимеров ЭВА.

1.2. Бутадиен-стирольный каучук

Бутадиен-стирольный каучук широко применяется для устройства полов и мостовых покрытий, хотя минимальная толщина материала обычно составляет лишь около 30 мм. Преимущество растворов, модифицированных БСК, заключается в очень высокой адгезии к бетону, высоком пределе прочности при изгибе и низкой проницаемости. Как правило, необходимо выдерживание бетона во влажных условиях в течение 24–48 ч для того, чтобы бетон набрал прочность до формирования латексной пленки [7].

БСК латекс замедляет скорость гидратации цемента и изменяет сроки максимального тепловыделения, однако при этом практически отсутствует химическое взаимодействие с портландцементом [8]. Дж. Планк сделал вывод [9, 10], что БСК с карбоксильной группой на поверхности полимерных коллоидных систем обычно замедляет реакцию образования как алюминатов, так и силикатов (рис. 2). Данное явление может быть связано с адсорбцией частиц БСК на поверхности положительно заряженных клинкерной или гидратированной фаз и образования комплексов ионов кальция, присутствующих в поровом растворе цемента с карбоксильными группами на поверхности БСК.

Введение БСК латекса может оказывать влияние на такие кристаллогидраты, как $\text{Ca}(\text{OH})_2$, этtringит, C_4AH_3 и гель гидросиликата кальция (ГСК). Установлено, что содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в БСК-модифицированном цементном камне при влажном твердении повышается с ростом полимерцементного отношения (П/Ц) и достигает максимума при П/Ц, равном 5 %, 10 % и 10 % для цементного камня в возрасте 3, 7 и 28 суток соответственно. При влажном твердении введение БСК-латекса способствует процессу гидратации, в то же время в БСК-модифицированном цементном тесте влияние полимера на содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и степень гидратации цемента незначительно. Результаты рентгеноструктурного анализа (РСА) показали, что БСК латекса ускоряет реакцию алюмината кальция с гипсом и, таким образом, положительно влияет на формирование и стабильность этtringита, препятствуя формированию C_4AH_3 [11].

1.3. Акрилат-стирольный сополимер

Акрилат-стирольный (АС) латекс относится к большой группе полимерных латексов, применяемых в строительной промышленности благодаря таким свойствам, как эластичность и водонепроницаемость [12]. Тем не менее сообщалось, что полимеры на основе акрилата вызывают значительное замедление гидратации цемента по сравнению с другими полимерами, такими как БСК-латексы и полимеры на основе винил-

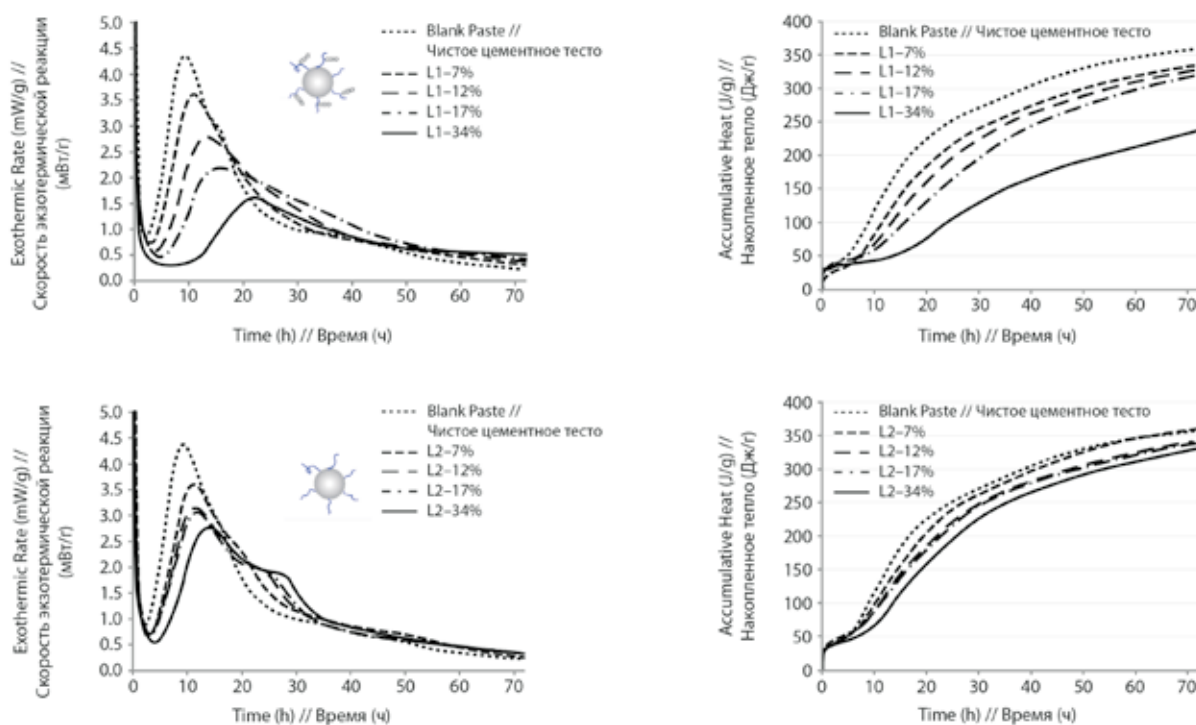


Fig. 3. The heat flow calorimetry curves of cement pastes in presence of dispersion L1* (top) and L2* (bottom) are shown, whereas the exothermic rate is shown in (a) and the accumulative heat flow in (b)

Рис. 3. Зависимость тепловыделения цементного теста от времени при различном содержании латекса, соответственно, верхний график L1* и нижний L2*. Скорость экзотермической реакции (a); суммарное тепловыделение (b)

effect of SBR on the content of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and the degree of cement hydration are not remarkable in mixed-cured SBR-modified cement pastes. XRD results illustrate that SBR accelerates the reaction of calcium aluminate with gypsum, and thus enhances the formation and stability of the ettringite and inhibits the formation of C_4AH_{13} [11].

1.3. Styrene-acrylate copolymer

Styrene-acrylate latex represents a big class of polymer latexes used in construction industry [12] thanks to its superior properties such like flexibility and water-proofing property. However, it was reported that the acrylate based polymer strongly retards cement hydration compared with other polymers such as SBR latexes and vinylacetate (VAc) based polymers [4], because of the partial hydrolysis of the acrylate repeating units in alkali condition and thus the production of carboxyl groups in the polymer [3]. Our research work have shown that SA polymer colloids with different surface property have huge effect on cement hydration, as shown in Fig. 3. In addition, our recent work have proved that hydrolysis of SA polymers at room temperature in cementitious systems is not remarkable and hence it is not the major reason for the retardation effect of the SA polymer. It is naturally to hypothesize whether the surface property of polymer colloids is the key parameter to decide the effect of polymer on cement hydration, instead of the main polymer composition in the core of polymer particles. In the following part, the inner working mechanism of the polymer colloids on cement hydration is elaborately discussed based on our previous research work [13].

ацетата (BA) [4], по причине частичного гидролиза звеньев акрилата в щелочной среде и, как следствие, образования карбоксильных групп в полимере [3]. Результаты проведенного исследования показали, что АС-полимерные коллоидные системы с различными свойствами поверхности частиц оказывают значительное влияние на процесс гидратации цемента, как показано на рис. 3. Помимо этого, результаты проведенных недавно исследований подтвердили, что гидролиз АС полимеров при комнатной температуре в цементных системах не является значительным и, соответственно, не может служить основной причиной замедляющего эффекта АС полимера. Естественно предположить, что главным фактором влияния полимера на гидратацию цемента являются поверхностные свойства частиц полимерных коллоидных систем, а не химический состав основного сополимера в сердцевине полимерных частиц. В следующей части статьи подробно рассмотрен механизм действия полимерных коллоидных систем на процесс гидратации цемента на основе результатов ранее проведенных исследований [13].

2. Анализ механизма действия полимерных коллоидных систем на гидратацию цемента

Использовались два стирол-н-бутилакрилат сополимерных латекса с различными свойствами поверхности, а именно: латекс L1 с карбоксильной группой на поверхности и латекс L2 без зарядов. Таким образом, латекс L1 рассматривался как

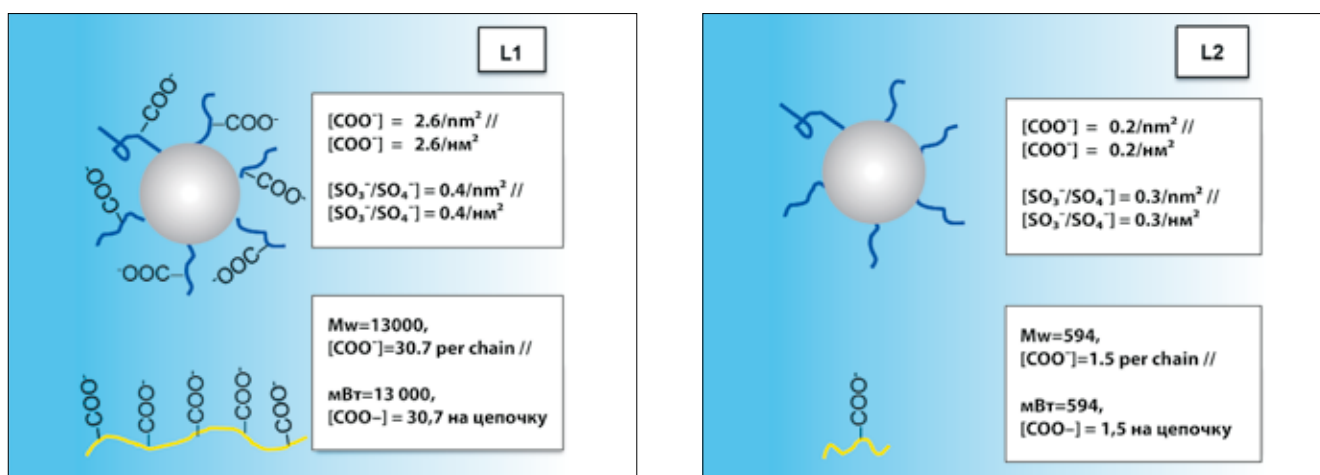


Fig. 4. Schematic drawing of polymer particle in the two latexes after alkali treatment: (a) L1, (b) L2

Рис. 4. Схематическое представление полимерных частиц двух латексов после щелочной обработки: (a) L1, (b) L2

2. Mechanism analysis of polymer colloids on cement hydration

Two styrene-*n*-butylacrylate co-polymer dispersions with different surface property were used, namely L1 with carboxyl group on the surface and L2 with no charges. Dispersion L1 was thus regarded as negatively charged polymer and L2 as neutral. L1 contains considerably more carboxyl groups on the surface of the polymer latexes than L2. Polymer particles in the two latexes are schematically illustrated in Fig. 4.

2.1. Adsorption of polymer latexes on cement surface

The adsorbed amount of polymer latexes on the surface of cement was determined by separating the liquid phase from the freshly polymer modified cement paste. Therefore a fresh cement paste was prepared by adding the targeted amount of polymer dispersion L1 or L2 to 50 g of cement. The w/c was kept constant at 0.41 for all experiments. A hand mixer was used for 30 seconds to mix the paste thoroughly. The fresh paste was filled into a centrifuge sample holder immediately after mixing. 3–5 mL of supernatant was typically received after centrifuging for 5 minutes at 4,000 rpm in a Varifuge GL from Heraeus Christ/Germany. The polymer content of the supernatant liquid was obtained by drying the liquid phase at 100 °C in an evacuated oven for 2 h. The residual was weighed and subjected to 600 °C for 1 h, burning all organic constituents of the residual. The weight loss during the burning process is regarded as polymer content. The adsorption amount of polymer on cement in function of polymer-cement ratio is plotted in Fig. 5.

From the inserted pictures in Fig. 5 one can see that a milky white supernatant is obtained at a P/C-ratio of 2% in the case of the neutral latexes (L2), while in the case L1, a P/C-ratio of 22% is necessary to obtain a milky supernatant liquid. From these pictures one can reach the conclusion that the anionically charged particles have a higher tendency to adsorb on the surface of cement

полимер с отрицательным зарядом, а латекс L2 — с нейтральным зарядом. Это связано с тем, что латекс L1 содержит намного больше карбоксильных групп на поверхности полимерных частиц, чем L2. Схематические изображения частиц полимеров в двух исследованных латексах представлены на рис. 4.

2.1. Адсорбция молекул полимерных латексов на поверхности частиц цемента

Степень адсорбции молекул сополимеров латекса на поверхности частиц цемента определялась путем выделения жидкой фазы из полимер-модифицированного цементного теста. Соответственно, свежеприготовленное цементное тесто было получено путем введения полимерного латекса L1 или L2 в 50 г цемента. Водоцементное отношение (В/Ц) оставалось постоянно равным 0,41 для всех экспериментов. Цементное тесто тщательно перемешивали в ручном смесителе в течение 30 секунд и непосредственно по окончании перемешивания загружали в прободержатель центрифуги. После центрифугирования в течение 5 минут со скоростью 4000 об/мин в центрифуге Varifuge GL (производство компании Heraeus Christ, Германия) обычно получалось 3–5 мл надосадочной жидкости. Содержание полимера в надосадочной жидкости определялось высушиванием жидкой фазы при температуре 100 °C в вакуумной печи в течение двух часов. Полученный остаток взвешивался и выдерживался при температуре 600 °C в течение 1 ч, в результате чего в остатке сгорали все органические компоненты. Потеря веса во время процесса горения рассматривалась как показатель содержания полимера. Величина адсорбции полимера на поверхности частиц цемента в зависимости от соотношения полимера и цемента представлена на рис. 5.

Как показали результаты проведенного эксперимента (рис. 5), надосадочная жидкость, выделенная из состава с добавкой латекса L2, была молочно-белого цвета уже при полимерцементном отношении П/Ц = 0,02, тогда как в случае состава с латексом L1 данный результат был достигнут при

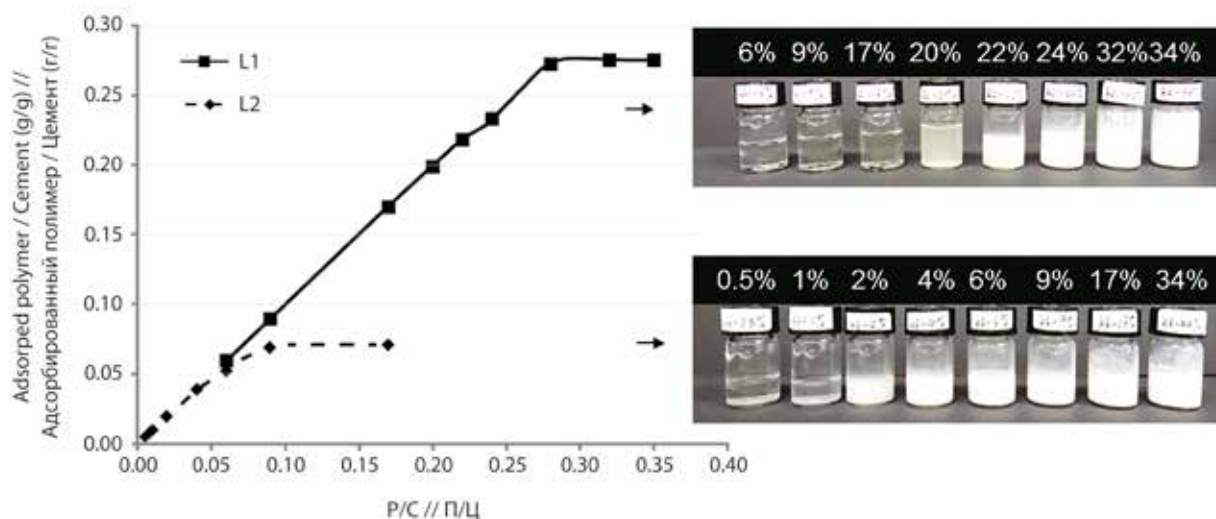


Fig. 5. Adsorption curves of the two polymer latexes in fresh cement pastes at very beginning after mixing

Рис. 5. Зависимости адсорбции двух полимерных латексов в цементном тесте непосредственно после смешивания

grains. The level of the plateau in the graph on the left side in Fig. 5 is another indication for this. One needs to add almost 30% of polymer to the cement in order to get a constant polymer amount in the supernatant liquid in the case of the anionic latexes of dispersion L1. In the case of L2 one reaches a constant polymer amount in the supernatant liquid at a dosage of 6%. After the adsorption is saturated, the total adsorbed amount of L1 is 28% by weight of cement (bwoc), which is much higher than that for L2 (7% bwoc).

To our best knowledge confocal laser scanning microscopy (CLSM) was employed for the first time in order to observe *in-situ* the distribution of polymer latexes in the fresh cement paste. Selective labeling of the polymer latexes was necessary to be able to observe them in the CLSM. Therefore the polymer dispersions were mixed with Nile Red (supplied by Sigma-Aldrich) for 72 hours. 10 g of cement was then mixed into the dispersion at a p/c of 10% and a w/c of 0.41 and manually stirred for 1 minute. The fresh pastes were then placed in a Lab-Tek Chamber (supplied by Thermo Fisher) and observed in the CLSM.

The hydrophobic dye Nile Red entered the polymer latexes and thus the latexes appear as bright spots in the CLSM images. Dark areas represent the cement grains and the interstitial aqueous phase. As shown in Fig. 6a the anionically charged polymer particles in dispersion L1 are immediately adsorbed on the surface of cement grains right after mixing. The particles stay there stably during the hardening of the material, as can be seen from Fig. 6c. The bright layer covering the black cement grains remains unchanged during the hydration. In case of neutral latexes of dispersion L2 no such bright layer covering the cement grains can be observed neither in the fresh state (Fig. 6b), nor in the hardened state (Fig. 6d). The bright domains are rather homogeneously distributed throughout the material. One can come to the conclusion that the majority of the polymer in L2

П/Ц = 0,22. На основании этих данных можно сделать вывод, что для анионно-заряженных частиц характерна более высокая адсорбция на поверхности цементных зерен. Еще одним подтверждением этих данных является уровень горизонтального участка кривой в левой части рис. 5. В случае с анионными латексами L1 в цемент необходимо ввести практически 30 % полимера, чтобы получить постоянное количество полимера в надосадочной жидкости. В случае с латексом L2 постоянное содержание полимера в надосадочной жидкости достигается при введении 6 %. При максимальной адсорбции общее адсорбированное количество L1 составляет 28% от массы цемента, что значительно превышает данное значение для латекса L2 (7% от массы цемента).

По нашим данным, конфокальная лазерная сканирующая микроскопия (КЛСМ) применялась для изучения *in situ* распределения полимерных латексов в цементном тесте впервые. Для визуализации распределения латексов с использованием метода КЛСМ проводилась их выборочная маркировка. Поэтому в полимерные латексы вводили краситель Nile Red производства Sigma-Aldrich и перемешивали в течение 72 ч. После этого 10 г цемента смешивали с латексом с П/Ц = 10 % и В/Ц = 0,41 и перемешивали в течение 1 минуты. Затем полученное цементное тесто помещалось в камеру Lab-Tek производства Thermo Fisher и производилось исследование методом КЛСМ.

Благодаря гидрофобному красителю Nile Red, введенному в полимерные латексы, на изображениях, полученных методом КЛСМ, латекс проявлялся в виде ярких пятен. Темные участки представляли собой зерна цемента и промежуточную жидкую фазу. Как показано на рис. 6а, анионно-заряженные полимерные частицы в латексе L1 быстро адсорбируются на поверхности зерен цемента сразу же после смешивания. Во время твердения материала полимерные частицы устойчиво фиксируются на зернах цемента (рис. 6с). Яркокрасенный слой, покрывающий темные зерна цемента, во время гидратации

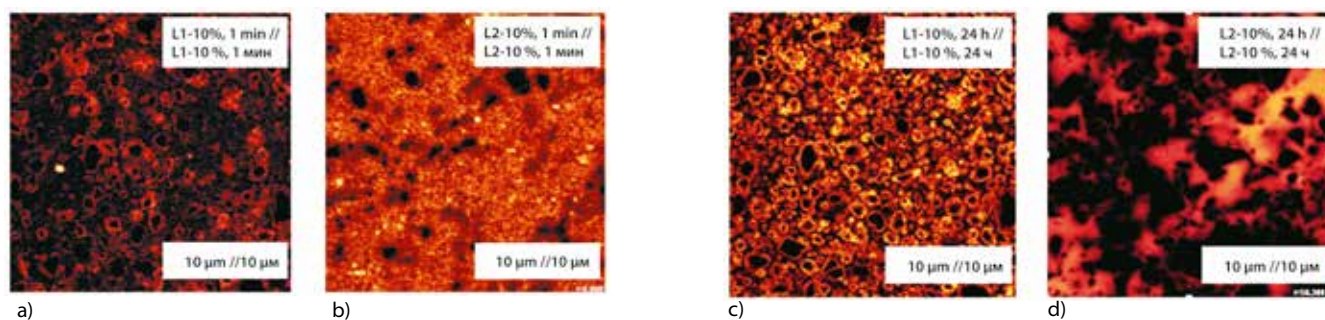


Fig. 6. Confocal Laser Scanning Microscopy images of cement grains in the presence of L1 on the left and L2 on the right

Рис. 6. Изображения цементных зерен с добавкой латексов L1 (слева) и L2 (справа), полученные методом конфокальной лазерной сканирующей микроскопии

remaining in the water phase forms a film in these drying water pockets. These results confirm our findings from the adsorption experiments. The anionically charged latexes of dispersion L1 have a high tendency to adsorb on the surface of the cement grains immediately upon mixing and remain there during the hydration of the cement.

It has been frequently reported that the carboxylate group containing polymers, such as polycarboxylate superplasticizers (PCE) [14–16] and acrylate based latex [3, 17], have significant retardation effect on cement hydration, due to the complexation between $R-COO^-$ and Ca^{2+} ions in pore solution of cementitious system. Hence the hydration kinetics of cement is greatly influenced by the addition of polymer latexes in the following two manners, as shown in Fig. 7:

1. Chemical retardation, that involves calcium complexation, by which the concentration of free calcium ions in aqueous phase of hydrating cement paste varies, and thus the induction period can be prolonged;

2. Physical retardation, which is mostly related to the covering layer on hydrating cement surface due to adsorption. The adsorbed polymer skin on mineral surface may inhibit the nucleation and growth processes of hydration products and, thus decelerates the hydration rate during the acceleration period and reduces the total hydration heat in the slow hydration period.

2.2. Quantitative phase evolution over cement hydration

Despite of different surface charges of the two polymer latexes, it seems that they exhibit similar effects on the silicate reaction in cement hydration, namely formation of C-S-H. On the contrary, the aluminate reaction is affected by the two latexes to highly different extents. The latex L1 clearly delays the initial formation of ettringite and the dissolution of gypsum, most probably due to its strong affinity to these highly positively charged surfaces. Both latexes delays the dissolution of C_3A and anhydrite, and hence the later production of ettringite. As it is known that the surface of silicate phases such as alite and C-S-H is negatively charged, the adsorption of the negatively charged polymer particles of both L1 and L2, is less

остается неизменным. При введении в состав латексов L2 с нейтральным зарядом на темных зернах цемента ни в цементном тесте (рис. 6b), ни в цементном камне (рис. 6d) яркоокрашенного полимерного слоя не образуется. Окрашенные участки достаточно однородно распределены по материалу. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что латексный полимер L2, остающийся в водной фазе, формирует пленку в порах. Эта гипотеза подтверждается экспериментальными исследованиями адсорбции: анионно-заряженные латексы L1 имеют более высокую адсорбционную активность на поверхности зерен цемента как непосредственно после смешивания, так и при гидратации.

В литературе обычно утверждение, что такие карбоксилатные группы полимеров, как поликарбоксилатные суперпластификаторы (ПКС) [14–16] и латексы на основе акрилата [3, 17], значительно замедляют гидратацию цемента вследствие образования комплексов ионов $R-COO^-$ и Ca^{2+} в поровом растворе вяжущей системы. Соответственно, введение полимерных латексов оказывает значительное влияние на кинетику гидратации цемента двумя способами (рис. 7):

1. Химическое замедление с комплексированием кальция, в процессе которого изменяется концентрация свободных ионов кальция в жидкой фазе цементного теста, что может привести к увеличению продолжительности индукционного периода.

2. Физическое замедление, которое главным образом относится к слою полимеров на поверхности зерен цемента, образовавшемуся в результате адсорбции. Пленка адсорбированного полимера на поверхности минерала может тормозить процессы нуклеации и роста продуктов гидратации, снижая скорость химических реакций и интенсивность тепловыделения в период медленной гидратации.

2.2. Количественное изменение фаз в процессе гидратации цемента

Несмотря на различие поверхностных зарядов двух полимерных латексов, они оказывают сходное влияние на реакцию образования силикатов при гидратации цемента. С другой стороны, они значительно различаются по степени своего влияния на реакцию

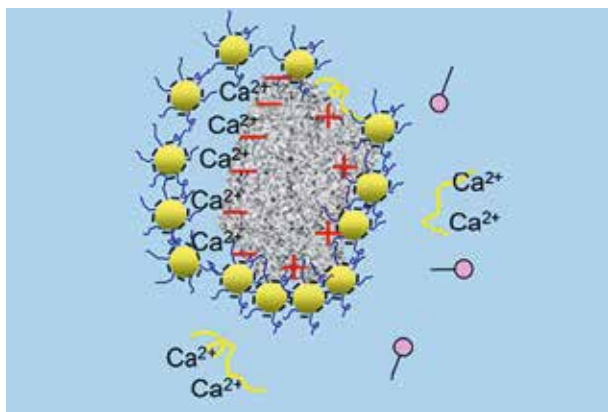


Fig. 7. Schematic representation of the adsorption polymer latexes with negative surface charge on the surface of a cement grain

Рис. 7. Схематическое представление адсорбции отрицательно заряженных полимерных латексов на поверхности зерна цемента

thinkable for their retardation effect on the silicate reaction. By contrast, *in-situ* XRD results clearly show that they act very much differently on the aluminate reaction. The reduction of the silicate reaction caused by the addition of the polymer latexes might be the consequence of their effects on the aluminate reaction, namely the delayed CaSO_4 dissolution and the depressed ettringite precipitation. The change of the calorimetric curves caused by the addition of polymer latex is the overall indication of its impacts on various reactions involved in cement hydration, including silicate as well as aluminate reactions. This work will be published in the Cement and Concrete Research in the near future.

Conclusion

We briefly summary the effects of three main types of polymer colloids on the cement hydration and their corresponding mechanism. What we can conclude is as follows:

1. Chemical interaction of acid groups released by alkaline hydrolysis of EVA with Ca^{2+} ions in the pore water of the cement pastes has great effect on cement hydration.

2. Hydrolysis of SA polymers at room temperature in cementitious systems is not remarkable and hence it is not the major reason for the retardation effect of the SA polymer. Hence for both SBR and SA polymer colloids, rather than the main polymer composition in the core of polymer particles, the surface functionalization of polymer particles (the charge type and the charge density) is decisive factor responsible for the described retardation effect.

3. On the basis of the presented results, it can be concluded that the anionic polymer latexes retard the cement hydration in two manners, namely the slowing down effect characterized by a reduced main hydration peak during the acceleration period and the postponing effect represented by a delayed hydration peak. This is

образования алюминатов. Латекс L1, очевидно, замедляет начальное образование этtringита и растворение гипса; наиболее вероятной причиной является интенсивное взаимодействие с данными поверхностями с высоким положительным зарядом. Оба вида латексов задерживают растворение C_3A и ангидрита, что, соответственно, приводит к более позднему образованию этtringита. Поверхность силикатных фаз, таких как алит и гидросиликат кальция, заряжена отрицательно, поэтому адсорбция отрицательно заряженных полимерных частиц, как L1, так и L2, представляется менее вероятной причиной замедления образования силикатов. Результаты PCA *in situ* показали, что полимеры совершенно иначе влияют на реакцию образования алюминатов. Снижение интенсивности силикатообразования, вызванное введением полимерных латексов, может являться следствием их влияния на реакцию образования алюминатов, в результате которого происходит замедление растворения CaSO_4 и подавление выпадения этtringита. Изменения калориметрических кривых, вызванные введением полимерного латекса, являются общим показателем влияния полимера на различные реакции гидратации цемента, включая образование силикатов и алюминатов. Статья об этом будет опубликована в журнале Cement and Concrete Research в ближайшее время.

Заключение

В работе изложен механизм влияния трех основных полимерных коллоидных систем на реакцию гидратации цемента. В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Химическое взаимодействие кислотных групп, которые образуются при щелочном гидролизе ЭВА с ионами Ca^{2+} в поровом растворе цементного теста, оказывает значительное влияние на гидратацию цемента.

2. Гидролиз акрилат-стирольного сополимера в вяжущих системах при комнатной температуре происходит в незначительном масштабе, следовательно, он не является основной причиной замедления твердения при введении АСС-добавки. Соответственно, основное значение в замедлении гидратации имеет не молекулярный состав частиц полимера, а функционализация поверхности частиц полимерных коллоидов БСК и АСС (за счет типа и плотности заряда).

3. Полученные данные позволяют сделать вывод, что замедление гидратации цемента под влиянием анионных полимерных латексов происходит следующим образом: 1) общее снижение основного максимума гидратации в период быстрой гидратации и 2) задержка периода максимума гидратации. Данный эффект принято называть химическим замедлением. Латексы с нейтральным зарядом поверхности в некоторой степени позволяют избежать адсорбции на поверхности цементных зерен в связи со слабым электростатическим взаимодействием с поверхностью цемента. Таким образом, преобладающее влияние на процесс

commonly referred to as chemical retardation. Neutral latexes can help to avoid the adsorption on the surface of cement grains to some extent, due to the weak electrostatic interaction with the cement surface. Thus the dominant effect on the hydration becomes the slowing down effect, commonly related to the physical retardation.

4. *In-situ* XRD results clearly show that polymer colloids with different surface property show similar effects on the silicate reaction in cement hydration but highly different effect on the aluminate reaction.

Acknowledgement

China Scholarship Council (CSC) is gratefully acknowledged for supporting the scholar exchange to fulfill this collaboration research.

References // Литература

- Ohama, Y. (1995), *Handbook of polymer-modified concrete and mortars – Properties and Process Technology*, Noyes Publications, Park Ridge.
- Kong, X., Li, Q. (2009), “Properties and Microstructure of Polymer Modified Mortar based on different Acrylate Latexes”, *J. Chin. Ceram. Soc.*, 32 (1), pp. 107–114.
- Su, Z., Bijen, J.M.J.M., Larbi, J.A. (1991), “Influence of polymer modification on the hydration of Portland cement”, *Cem. Concr. Res.*, 21, pp. 242–250.
- Silva, D.A., Roman, H.R., Gleize, P.J.P. (2002), “Evidences of chemical interaction between EVA and hydrating Portland cement”, *Cem. Concr. Res.*, 32, pp. 1383–1390.
- Silva, D.A., Monteiro, P.J.M. (2006), “The influence of polymers on the hydration of Portland cement phases analyzed by soft X-ray transmission microscopy”, *Cem. Concr. Res.*, 36, pp. 1501–1507.
- Betioli, A.M., Filho, J.H. (2009), “Chemical interaction between EVA and Portland cement hydration at early-age”, *Constr. Build. Mater.*, 23, pp. 3332–3336.
- Fowler, D.W. (1999), “Polymers in concrete: a vision for the 21st century”, *Cement & Concrete Composites*, 21, pp. 449–452.
- Atkins, K.M., Edmonds, R.N., Majumdar, A.J. (1991), “The hydration of Portland and aluminous cements with added polymer dispersions”, *J. Mater. Sci.*, 26, pp. 2372–2378.
- Baueregger, S., Perello, M., Plank, J. (2015), “Impact of carboxylated styrene–butadiene copolymer on the hydration kinetics of OPC and OPC/CAC/AH:

гидратации оказывает эффект замедления, который, как правило, связывают с физическим замедлением.

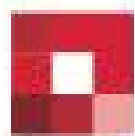
4. Результаты рентгеноструктурного анализа (РСА) *in situ* показывают, что полимерные коллоидные системы с различными свойствами поверхности оказывают сходное влияние на силикатную фазу при гидратации цемента, но совершенно иначе воздействуют на алюминатную фазу.

Выражение признательности

Авторы выражают благодарность Китайскому комитету по стипендиям (China Scholarship Council) за поддержку программы по обмену для научных работников, благодаря которой стало возможным проведение данного исследования.

The effect of Ca²⁺ sequestration from pore solution”, *Cem. Concr. Res.*, 73, pp. 184–189.

- Baueregger, S., Perello, M., Plank, J. (2015), “Influence of carboxylated styrenebutadiene latex copolymer on Portland cement hydration”, *Cem. Concr. Compos.*, 63, pp. 42–50.
- Wang, R., Li, X.G., Wang, P.M. (2006), “Influence of polymer on cement hydration in SBR-modified cement pastes”, *Cem. Concr. Res.*, 36, pp. 1744–1751.
- Urban, D., Takamura, K. (2002), *Polymer dispersions and their industrial applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim.
- Kong, X., Emmerling, S., Pakusch, J., Rueckel, M., Nieberle, J. (2015), “Retardation effect of styrene-acrylate copolymer latexes on cement hydration”, *Cem. Concr. Res.*, 75, pp. 23–41.
- Plank, J., Sachsenhauser, B. (2009), “Experimental determination of the effective anionic charge density of polycarboxyl superplasticizers in cement pore solution”, *Cem. Concr. Res.*, 39, pp. 1–5.
- Uchikawa, H., Sawaki, K., Hanehara, S. (1995), “Influence of kind and added timing of organic admixture on the composition, structure and property of fresh cement paste”, *Cem. Concr. Res.*, 25, pp. 353–364.
- Pourchet, S., Liautaud, S., Rinaldi, D., Pochard, I. (2012), “Effect of the repartition of the PEG side chains on the adsorption and dispersion behaviors of PCP in the presence of sulfate”, *Cem. Concr. Res.*, 42, pp. 431–439.
- Mollah, M.Y.A., Adams, W.J., Schennach, R., Cocke, D.L. (2000), “A review of cement-superplasticizer interactions and their models”, *Adv. Cem. Res.*, 12, pp. 153–461.



WorldBuild Siberia
SibBuild

Выставка строительных и отделочных материалов

184 производителя
и поставщиков из 8 стран

7 697 специалистов
из 35 регионов России

Площадь выставки
3 948 м²



13–16 февраля 2018

Новосибирск
МВК «Новосибирск
Экспоцентр»

© ООО «ИТЕ» / WorldBuild Siberia 2017



Образовательный
Группы компаний ИТЕ
+7 (383) 363-00-82
info@sibbuild.ru



Забронируйте стенд

www.sibbuild.com



Eckert, A., Certified Engineer, STRABAG Großprojekte GmbH, Munich, Germany

CONSTRUCTION OF DURABLE ROADS WITH CEMENT CONCRETE PAVEMENT BASED ON THE GERMAN EXPERIENCE

Эккерт А., дипломированный инженер, компания STRABAG Großprojekte GmbH, Мюнхен, Германия

СТРОИТЕЛЬСТВО ДОЛГОВЕЧНЫХ АВТОДОРОГ С ЦЕМЕНТОБЕТОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОПЫТЕ ФЕДЕРАТИВНОЙ РЕСПУБЛИКИ ГЕРМАНИЯ

Abstract

The article presents a brief analysis of motorways construction with cement concrete pavements in Germany, starting from the beginning of this technology in the 1930s and until nowadays. Some economical and technical aspects of cement concrete paving allowing creating durable highways for heavy and constantly increasing traffic loads are shown based on the German experience.

Key words: motorways, cement concrete pavement, Germany, two-layer cement concrete pavement technology

Introduction

The share of roads with cement concrete pavements in the modern autobahn network of the Federal Republic of Germany is about 28% with total length of approximately 13,000 km. However, the share of autobahn type highways is only 5.6% of the entire German road network. At the same time, such roads carry about 33% of the total road traffic with the ever growing component of freight transport [1]. About 84% of all cargo shipping in Germany is carried out by road [2].

One of the most important factors for road construction and maintenance is the share of freight transport, as the impact on the road of one truck with axial load of 11.5 t/axis is approximately equal to the impact of 280,000 cars with axle load of 0.5 t/axis [3]. The increase in the maximum axial load from 10 to 11.5 t/axis, which took place in Germany in 1965, meant the increase in the total vehicle impact on the road structure by 75% [3].

Taking into account the ever increasing freight traffic, motorways with high share of freight transport should have a sufficient safety factor, and their construction should not allow deformation of the coatings due to high loads (especially in summer). At the same time, the lifetime of such a road shall be long, with maximum intervals between repair ensuring traffic without significant restrictions and difficulties.

Аннотация

В статье дается краткий обзор строительства автомагистралей с цементобетонными покрытиями в Германии, начиная от истоков данной технологии в 30-х годах 20-го века и по сегодняшний день. На опыте Германии показаны некоторые экономические и технические аспекты устройства цементобетонных покрытий, позволяющие создавать долговечные автомагистрали для высоких и постоянно растущих транспортных нагрузок.

Ключевые слова: автодороги, цементобетонное покрытие, Германия, технология двухслойной укладки бетона

Введение

В современной сети автобанов Федеративной Республики Германия доля автодорог с цементобетонным покрытием составляет около 28% при общей протяженности приблизительно 13 000 км. При этом доля автомагистралей типа автобан составляет всего 5,6% от всей сети автодорог Германии, но на нее приходится около 33% всего автодорожного движения с постоянно растущей составляющей грузового транспорта [1]. Около 84% всех грузоперевозок в Германии осуществляется автомобильным транспортом [2].

Доля грузового транспорта является одним из важнейших факторов для строительства и содержания автодорог, так как воздействие одного грузового автомобиля с осевой нагрузкой 11,5 т/ось приблизительно соответствует воздействию 280 000 легковых автомобилей с осевой нагрузкой 0,5 т/ось [3]. Изменение в 1965 г. максимальной осевой нагрузки с 10 до 11,5 т/ось привело к необходимости увеличения дорожного бюджета Германии на 75% [3].

С учетом постоянно растущего грузопотока автомагистрали с высокой долей грузового транспорта должны обладать достаточным коэффициентом

The roads with cement-concrete pavements are ideal solution for solving these problems. Provided that all technical conditions and rules of construction and maintenance are properly observed, the roads with cement-concrete pavements have, first of all, the following advantages:

- High load-carrying capacity with significant safety factor;
- Stable forms (also when exposed to high and low temperatures);
- Good friction coefficient;
- Light color surface, facilitating orientation in the darkness;
- Environmentally friendly type of construction due to the long service life and the possibility of the recycled materials use (concrete);
- Long service life without the need for significant repair work.

The studies have demonstrated that after 23 years of operation only 5% of the roads with cement-concrete pavements needed to be repaired. On roads with asphalt-concrete pavement this indicator was from 80 to 100% (depending on the types of asphalt concrete) [4].

History of concrete roads construction in Germany

Since the mid-1920s, the number of road transport in Germany has been substantially and constantly increasing. Accordingly, the need for durable motorways suitable for motor transport has increased. In 1924, the "Studiengesellschaft für Automobil-Straßenbau" (STUFA), a road construction research society, was established, and one of the first documents issued by this company was the "Preliminary Guideline for the Construction of Concrete Roads" which in subsequent years was periodically improved and updated in accordance with new theoretical and practical knowledge and gained experience. The first concrete road of autobahn type in Germany was the motorway between the cities of Cologne and Bonn which was built in 1929–1932. In 1930s, there was a real boom in the construction of cement-concrete roads — as of 1939, 63 million m² of such roads were built. Of these, the autobahn network accounted for 41 million m², which was 90% of all constructed roads of this type [5].

Of course, the construction technology and the structure of roads in the 1930s do not meet the road requirements of the 21st century. However, in spite of all the technical drawbacks of concrete autobahns of the 1930s, such as the small thickness of the coating, imperfect joint spacing and design, drainage problems, etc., several road sections with the original coating of the 1930s still exist in Germany — for example, a section of

износостойкости, а их конструкция не должна допускать деформации покрытий вследствие высоких нагрузок (особенно в летний период). При этом срок эксплуатации такой дороги должен быть длительным, с максимальным межремонтным интервалом, гарантирующим движение транспорта без существенных ограничений и затруднений.

Для решения данных задач идеально подходят автодороги с цементобетонными покрытиями. При надлежащем соблюдении всех технических условий и правил строительства и содержания автодороги с цементобетонными покрытиями имеют следующие преимущества:

- высокая несущая способность с существенным коэффициентом износостойкости;
- устойчивая форма (в том числе при воздействии высоких и низких температур);
- высокий коэффициент сцепления;
- поверхность светлого цвета, облегчающая ориентацию в темноте;
- экологически безопасный вид строительства в связи с длительным сроком эксплуатации и возможностью повторного использования материалов (бетона);
- длительный срок эксплуатации без необходимости проведения крупных дорожно-ремонтных работ.

Исследования показали, что через 23 года эксплуатации только 5% автодорог с цементобетонным покрытием нуждались в ремонте. На дорогах с асфальтобетонным покрытием данный показатель составлял от 80 до 100% (в зависимости от видов асфальтобетона) [4].

История строительства автодорог из бетона в Германии

С середины 20-х годов XX века количество автомобильного транспорта в Германии постоянно и существенно увеличивается. Соответственно растет и потребность в долговечных и пригодных для автомобильного транспорта автодорогах. В 1924 г. по исследованию автодорожного строительства было создано «Учебное общество по строительству автомобильных дорог» (STUFA). Одним из первых документов, изданных Обществом, стало «Руководство по строительству автодорог из бетона», которое в последующие годы периодически пересматривалось и актуализировалось в соответствии с новыми теоретическими и практическими знаниями и накопленным опытом. Первой автодорогой из бетона типа автобан в Германии стала автомагистраль между городами Кельн и Бонн, построенная в 1929–1932 гг. В тридцатые годы начался настоящий бум строительства

the Berlin-Stettin autobahn (today's designation is A11) built in 1936. This proves that under certain conditions, the lifetime of concrete roads can be up to 80 years!



Fig. 1. Section of the Berlin — Stettin autobahn (A11) in 1936

Рис. 1. Участок автобана Берлин — Штеттин (Щецин) (A11) в 1936 г.

Over the past 80 years, road construction technologies in Germany have been developing, particularly thanks to close contact between representatives of science, construction industry, public authorities, manufacturers of machinery and materials and other concerned parties. One of the leading roles in Germany in the development and construction of roads and other infrastructure facilities using concrete is the Community Concrete Road Networks (Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton eV), which members are representatives of the cement and road building industries, as well as manufacturers of machinery and materials being used in the cement concrete coatings construction. The community, founded in 1959, is the link between science, designers, customers and representatives of the construction industry. Participation in the development of technical standards, study and implementation of technical innovations, search for solutions of the emerging technical problems — all this contributes to the effective development of construction of roads and other infrastructural facilities with cement-concrete pavements in Germany.

State-of-the-art technologies

The prerequisites for successful road operation are created long before its construction. Time-proven technical regulatory framework being constantly updated is the most important prerequisite for creating long-term, high-quality and comfortable roads in Germany. At the design stage, innovative, on the one hand, and experienced and proven technical solutions, on the other hand, should be taken into account. Also, the choice of the right road structure in terms of long-term road performance plays an important role.

автодорог с цементобетонным покрытием — по состоянию на 1939 г. было построено 63 млн м² таких автодорог. Из них на сеть автобанов приходилось 41 млн м², что составило 90 % всех построенных дорог этого типа [5].

Конечно, технология строительства и конструкция дорог периода 30-х годов прошлого столетия не соответствует требованиям, предъявляемым к автодорогам в XXI веке. Однако при всех технических недостатках, присущих бетонным автобанам 1930-х, таким как небольшая толщина покрытия, неоптимальное расположение и конструкция швов, проблемы с водоотводом и проч., в Германии еще сохранилось несколько участков дорог с оригинальным покрытием 1930-х годов. В качестве примера можно упомянуть участок автобана Берлин — Штеттин (Щецин) (сегодняшнее обозначение A11), построенного еще в 1936 г. Таким образом, при определенных условиях срок эксплуатации бетонных автодорог может составлять до 80 лет!

Последние 80 лет технологии строительства автодорог в Германии активно развивались, в том числе в результате тесного контакта между представителями науки, строительной отрасли, органами государственной власти, производителями техники и материалов и других заинтересованных сторон. Одна из ведущих ролей в вопросе развития и строительства автодорог и прочих инфраструктурных объектов с использованием бетона в Германии принадлежит «Ассоциации бетонных дорог» (Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton eV.), членами которой являются представители цементной и дорожно-строительной отрасли, а также производители техники и материалов, используемых при строительстве цементобетонных покрытий. Основанная в 1959 г. Ассоциация является связующим звеном между наукой, проектировщиками, заказчиками и представителями строительной индустрии. Участие в разработке технических нормативов, изучение и внедрение инновационных технологий, поиск решения возникающих проблем — все это способствует эффективному развитию строительства автодорог и прочих инфраструктурных объектов с цементобетонными покрытиями.

Современные технологии

Предпосылки для успешной эксплуатации автодороги создаются задолго до ее строительства. Так, в основе создания долговечных, качественных и комфортных автодорог Германии лежит проверенная временем и постоянно обновляемая нормативно-техническая база. Уже на этапе проектирования должны учитываться, с одной стороны, инновационные, а с другой — испытанные и зарекомендовавшие себя технические решения. Весомую роль в вопросе долговечности автодорог также играет выбор правильной дорожной конструкции.

В Германии существует два метода выбора конструкции дорожных одежд: выбор типовой

In Germany, there are two methods for choosing the design of pavements: the choice of standard design in accordance with the Pavements Standardization Guidelines (**RStO** — Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen), or individual design calculations, for example, in accordance with the Guidelines for Determining parameters of cement concrete pavements by calculation method (**RDO** — Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen).

RStO is a collection of standardized pavement designs allowing selecting a typical design depending on the main parameters such as the transport load, the depth of freezing and, accordingly, the thickness of the frost-resistant layer. This method of choosing pavement design prevails in comparison with individual calculation method which is used only for ultra-high transportation loads or in case of the customer's special request, for example, when the road availability factor is to be considered, i.e. the need for a minimum traffic restriction due to repair work for operational period (which is especially important in terms of public-private partnership (**PPP**) projects).

It should be noted that almost all road construction projects in the framework of the PPP model in Germany are implemented using cement-concrete coatings. This trend is easily explained by the fact that a concessionaire finances the construction of the motorway at its own expense and is responsible for maintenance and availability of the motorway throughout the concession period (usually 30 years). As a consequence, the vast majority of concessionaires and banks that finance these projects rely on motorways with cement concrete pavements.



Fig. 2. New section of the A8 Ulm – Augsburg autobahn with cement concrete pavement built under the PPP project

Рис. 2. Новый участок автобана А8 Ульм-Аугсбург с цементобетонным покрытием, построенный в рамках ГЧП

At the construction stage, the main regulatory documents for the cement-concrete pavements construction are the proven ZTV-Beton-StB standards (Additional contract specifications and guidelines for the construction of cement-concrete pavements) and

конструкции в соответствии с Руководством по стандартизации дорожных одежд (**RstO** — Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen), или индивидуальный расчет конструкции, например, в соответствии с Руководством об определении параметров цементобетонного покрытия дорожных одежд методом расчета (**RDO** — Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen).

RStO представляет собой сборник стандартизированных конструкций дорожных одежд, позволяющий выбрать типовую конструкцию в зависимости от основных параметров дороги, таких как транспортная нагрузка, глубина промерзания и, соответственно, толщина морозостойкого слоя. Данная методика выбора используется намного чаще, чем методом индивидуального расчета. Последний применяется только при расчетах для дорог со сверхвысокими транспортными нагрузками либо при особом пожелании заказчика, например, в случаях, когда закладывается фактор доступности дороги, т.е. необходимость минимального ограничения движения вследствие ремонтных работ на период эксплуатационного срока (что особенно актуально в проектах государственно-частного партнерства (**ГЧП**)).

Важно отметить, что в Германии практически все дорожно-строительные проекты в рамках модели ГЧП выполняются с применением цементобетонных покрытий. Такая тенденция легко объясняется тем, что концессионер финансирует строительство автодороги из собственных средств и в течение всего срока действия концессионного договора (как правило, 30 лет) отвечает за ее содержание и доступность. Поэтому подавляющее число концессионеров и банков, финансирующих данные проекты, делают ставку на автодороги с цементобетонными покрытиями.

На стадии строительства основными нормативными документами для устройства цементобетонных покрытий служат зарекомендовавшие себя нормативы ZTV-Beton-StB (Дополнительные технические условия договора и рекомендации по устройству цементобетонных покрытий) и TLBeton-StB (Технические условия поставки материалов для устройства цементобетонного покрытия).

Стандартную современную конструкцию дорожной одежды с цементобетонным покрытием на автодорогах типа автобан в Германии можно представить следующим образом:

- покрытие из цементобетона толщиной 27 см;
- щебеночно-песчаное основание толщиной 25 см, укрепленное цементom;
- морозостойкий слой основания.

Для современных цементобетонных покрытий Германии характерно применение следующих технических решений:

TL Beton-StB (Technical conditions for the supply of materials for the cement concrete pavement).

The standard modern design of the pavement with cement concrete coating on motorways of the autobahn type in Germany can be represented as follows:

- 27 cm cement concrete pavement;
- 25 cm crushed stone and sand basement, reinforced with cement;
- Frost-resistant base layer.



Fig. 3. Schematic view of motorway with cement-concrete pavement

Рис. 3. Схематическое изображение автодороги с цементобетонным покрытием

For modern cement-concrete pavements in Germany, the following technical solutions are typical:

- Absence of paving expansion joints during surfacing, exception for the joints in junction area with bridge structures or in the presence of other artificial structures in the pavement (for example, wells);
- The length of the slabs is limited to 5 m;
- Absence of solid slab reinforcement;
- Arrangement of pin-type reinforcement:

The so-called studs (pins made of smooth steel with a protective plastic shell) are laid in the transverse joints and anchors (pins made of corrugated steel) are laid in the longitudinal joints.

The studs are intended for transferring loads between the adjacent slabs and fixing the slabs in the upright position. Anchors prevent slabs from gapping or moving along the longitudinal joints of the pavement;

- Joints sealing of can be performed with materials of 3 types: the so-called hot bitumen-based mastic, the so called cold mastic based on polysulfide materials and rubber seals of "herringbone" pattern;

- отсутствие деформационных швов расширения при устройстве покрытия, за исключением швов в зонах сопряжения с мостовыми сооружениями, либо при наличии иных искусственных сооружений в покрытии (например, колодцев);
- длина плит ограничивается 5 м;
- отсутствие сплошного армирования плит;
- устройство штыревого армирования: в поперечных швах закладываются так называемые дюбеля (стальные стержни с гладкой поверхностью), а в продольных швах — анкеры (стальные стержни с периодическим профилем).

Дюбеля выполняют функцию передачи нагрузки между соседними плитами и фиксации положения плит в вертикальной плоскости. Анкеры не позволяют разойтись либо сдвинуться плитам вдоль продольных швов покрытия;

- герметизация швов может осуществляться материалами трех типов: так называемой горячей мастикой на основе битума, холодной мастикой на основе полисульфидных материалов и резиновыми уплотнителями по типу «елочка»;
- использование высококачественных бетонов: жесткие требования по качеству как к бетону, так и к используемым материалам (инертные заполнители, цемент, химические добавки и др.);
- двухслойная технология устройства цементобетонных покрытий;
- устройство поверхности цементобетонных покрытий с обнаженным заполнителем (технология «waschbeton»).

Остановимся более подробно на двух последних решениях.

Технология двухслойного устройства цементобетонных покрытий и технология «waschbeton»

Основным преимуществом двухслойной технологии является возможность создания тонкого (5–6 см) верхнего слоя с особыми техническими характеристиками. По аналогии с асфальтобетонными покрытиями такой слой можно условно назвать «слоем износа». Данный слой с повышенными требованиями к бетону и заполнителям позволяет придать поверхности цементобетонного покрытия улучшенные технические характеристики и при этом существенно уменьшить затраты на его устройство в целом. Такой эффект достигается благодаря использованию более дешевых и доступных для многих регионов материалов для создания нижнего слоя бетона.

- Use of high-quality concretes with stringent requirements for both concrete and used materials (inert aggregates, cement, chemical additives, etc.);
- Two-layer cement concrete pavement technology;
- Arrangement of cement concrete pavements with exposed aggregate ("waschbeton" technology).

Let's consider in more details the last two decisions.

Two-layer cement concrete pavement technology and "waschbeton" technology

The main advantage of the 2-layer technology in construction of a cement-concrete pavement is the possibility of creating a thin (5–6 cm) topcoat with special technical characteristics. As with asphalt-concrete pavements, this layer can be called "a wear layer". The construction of this layer meeting strict technical requirements both for concrete and aggregates allows to provide the cement concrete pavement surface with improved technical characteristics and at the same time to substantially reduce costs for the cement concrete pavements construction on the whole by using cheaper materials available in many regions to create bottom concrete layer.

To illustrate this, we can compare the main characteristics of the materials used in the upper layer (according to the "waschbeton" technology described below, with a maximum aggregate size of 8 mm) and in the bottom layer of cement-concrete pavements, according to the requirements of ZTV Beton-StB 07 and TL Beton-StB 07.

Accordingly, in the case of arrangement of cement-concrete pavement in one layer, if the required pavement characteristics (abrasability, adhesion coefficient, noise reduction) are achieved, 3.5 times more (21 cm/6 cm = 3.5) of high-quality crushed stone will be required.

The most common version of the top layer of concrete when using the two-layer technology is the creation of concrete with exposed aggregate or using the German terminology "waschbeton".

"Waschbeton" technology — concrete with exposed aggregate has two advantages:

1. Noise reduction.

Due to the formation of an optimum cement concrete pavement surface with exposed aggregate in terms of noise reduction, there is much less noise when the car's wheel contacts the road than on any other type of cement-concrete pavement (for example, with transverse grooves created by a steel brush).

The noise level on cement concrete pavements with exposed aggregate is comparable to the noise level on asphalt pavements with optimized top layer (aggregate

Для наглядности приведем небольшое сравнение основных характеристик материалов, используемых в верхнем слое (для описанной далее технологии «waschbeton» с максимальным размером фракции заполнителей 8 мм) и в нижнем слое цементобетонного покрытия, в соответствии с требованиями нормативов ZTVBeton-StB 07 и TLBeton-StB 07.

Table 1. Comparative characteristics of the materials used for top and bottom concrete layers

Таблица 1. Сравнительные характеристики материалов для верхних и нижних слоев бетона

Характеристики	Верхний слой (6 см)	Нижний слой (21 см)
Максимальный размер фракций заполнителя, мм	8	32
Допустимая лещадность заполнителя, %	15	50
Количество дробленых зерен в заполнителе	90–100%	не нормируется
Сопrotивление полируемости заполнителя	PSV 53	не нормируется
Минимальное количество цемента в бетоне, кг/м ³	420	340

Соответственно, при устройстве цементобетонного покрытия в один слой, при условии достижения требуемых характеристик покрытия (истираемость, коэффициент сцепления, снижение уровня шума), высококачественного щебня потребуется в 3,5 раза больше (21 см / 6 см = 3,5)

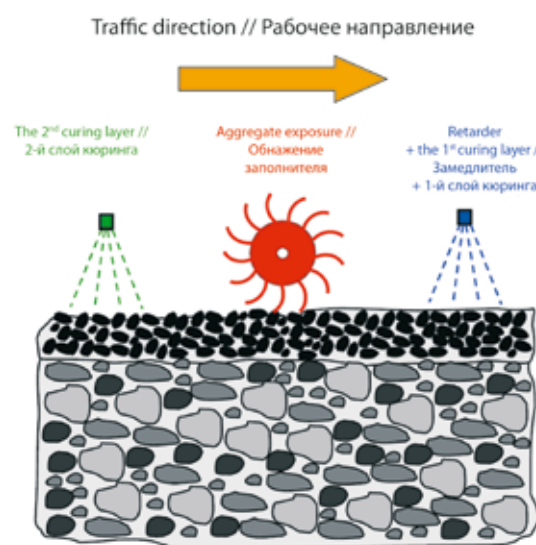


Fig. 4. Structure diagram of two-layer cement concrete pavement based on the "waschbeton" technology

Рис. 4. Схема устройства двухслойного цементобетонного покрытия по технологии «waschbeton»

size is 0.11 mm). Compared to standard asphalt concrete pavements, the noise level of surfaces with exposed aggregate using “waschbeton” technology is “quieter” by 2 dB (A).

2. Long-term good adhesion coefficient of the surface is obtained due to the optimal roughness of the coating. Unlike other forms of cement concrete pavements texturing that create roughness only in the surface layer of cement-sand stone, when using the “waschbeton” technology the roughness is created by exposing an inert aggregate having much better resistance to abrasion and polishing.



Fig. 5. Concrete surface with exposed aggregate (“waschbeton”)

Рис. 5. Поверхность бетона с обнаженным заполнителем («waschbeton»)



Fig. 6. Concrete surface textured with steel brush

Рис. 6. Поверхность бетона, текстурированного стальной щеткой

Basic machines and mechanisms

The fundamental factor in cement concrete roads development was and remains the constant evolution of road building machinery necessary for quick and high-quality construction of these types of roads. First of all, these are concrete pavers and concrete mixing plants. Taking into consideration nearly a century-long history

Самым распространенным вариантом устройства верхнего слоя бетона при использовании двухслойной технологии является создание бетона с обнаженным заполнителем или, пользуясь немецкой терминологией, «waschbeton» (вашбетон).

Технология «waschbeton» — бетон с обнаженным заполнителем — имеет следующие преимущества:

1. Снижение уровня шума.

Благодаря оптимальной, с точки зрения шумопонижения, конструкции поверхности цементобетонного покрытия с обнаженным заполнителем, уровень шума при контакте автомобильного колеса с дорогой значительно снижается, по сравнению с аналогичным показателем на любых других видах цементобетонных покрытий (например, на покрытиях с поперечными бороздками, создаваемыми стальной щеткой).

Уровень шума на покрытиях из цементобетона с обнаженным заполнителем сравним с аналогичным показателем на покрытиях из асфальтобетона с оптимизированным верхним слоем (размер фракции заполнителя 0–11 мм). В сравнении со стандартными асфальтобетонными покрытиями, уровень шума поверхностей с обнаженным заполнителем по технологии «waschbeton» «тише» на 2 дБ (А).

2. Высокий коэффициент сцепления поверхности покрытия с длительным ресурсом благодаря оптимальной шероховатости. В отличие от других форм текстурирования цементобетонных покрытий с шероховатым поверхностным слоем цементно-песчаного камня, при применении технологии «waschbeton» шероховатость создается за счет обнажения инертного заполнителя с более высокой сопротивляемостью к истиранию и полированию.

Основные машины и механизмы

Основополагающим фактором развития автодорог из цементобетона было и остается постоянное развитие дорожно-строительной техники, необходимой для быстрого и качественного строительства дорог такого типа. В первую очередь это бетоноукладчики и бетоносмесительные установки. Учитывая почти столетнюю историю развития этих механизмов, современную технику можно коротко охарактеризовать следующим образом:

Для производства бетонной смеси используются высокопроизводительные мобильные бетоносмесительные установки. Как правило, они имеют два двухвальных смесителя принудительного действия с суммарной производительностью 240–300 м³/ч и автоматизированную систему дозирования материалов и управления;

Для укладки бетонной смеси используется бетоноукладчик или бетоноукладочный комплекс, состоящий из бетоноукладчика нижнего слоя, бетоноукладчика верхнего слоя и самоходной рабочей



Fig. 7. An example of concrete-mixing plant for road construction

Рис. 7. Пример бетоносмесительной установки для дорожного строительства

of these mechanisms development, modern technology can be briefly described as follows:

For concrete mix production high-performance mobile concrete mixing plants are used. As a rule, they have two twin-shaft mixers of forced action with a total capacity of 240–300 m³/h and an automated material supply and control system.

The concrete paver or concrete laying complex consisting of bottom layer paver, top layer paver and a self-propelled work platform are used to lay the concrete mix. Modern concrete pavers provide laying concrete with width of up to 18.0 m and thickness of up to 60 cm.

Logistics

One of the significant tasks arising in the cement concrete road construction process is logistics. As an example, here are the following figures: for pavement construction during one work shift with an average output of about 500 lm it is necessary to move about 1500 m³ of concrete mix from the concrete mixing plant to the place of laying, and at the same time it will be necessary to deliver more than 500 t of cement and about 2,700 t of aggregates to the concrete mixing plant. The lack of the necessary transportation planning and/or a shortage of transportation capacities, automatically result in delays or stopping of cement-concrete pavement laying process. In this case, and the 20–30 minutes delay in concrete mix delivery means total shutdown of the laying process.

Maintenance and repair

For proper operation of roads with cement concrete pavement, timely maintenance and repair (if necessary) are necessary to be carried out.

The main activities are as follows:

- Joints care and their replacement, as a rule, every 5–10 years;



Fig. 8. Concrete laying complex for two-layer concrete placing

Рис. 8. Бетоноукладочный комплекс для двухслойной укладки бетона

платформы. Современные бетоноукладчики позволяют производить укладку бетона шириной до 18 м и толщиной до 60 см.

Логистика

Одной из существенных задач, возникающих в процессе строительства автодорог с цементобетонным покрытием, является логистика. В качестве примера можно привести следующие цифры: при устройстве покрытия в течение одной рабочей смены со средней производительностью примерно 500 погонных метров необходимо переместить около 1500 м³ бетонной смеси от бетоносмесительной установки к месту укладки. Одновременно на бетоносмесительную установку требуется доставить более 500 т цемента и около 2700 т заполнителя. Отсутствие необходимого планирования грузоперевозок и/или дефицит транспортных мощностей автоматически означают задержки или остановку процесса устройства цементобетонных покрытий. При этом задержка поставки бетонной смеси более чем на 20–30 мин означает полную остановку процесса укладки.

Содержание и ремонт

Для качественной эксплуатации автодорог с цементобетонными покрытиями необходимо своевременно выполнять ряд мероприятий по содержанию и ремонту (в случае его необходимости).

Основные мероприятия в ходе эксплуатации автодорог с цементобетонным покрытием:

- уход за деформационными швами и их замена, как правило, каждые 5–10 лет;
- своевременное устранение локальных дефектов (сколы, раковины и т.д.) и трещин в покрытии;
- замена отдельных плит с использованием стандартных или быстротвердеющих бетонов.

- Timely elimination of local defects (chips, cavities, etc.) and cracks in the pavement;
- Replacement of individual slabs using standard or fast-curing concretes.

With due regard to maintenance and timely minor local defects elimination, the roads with cement concrete pavements do not need major repair for the entire service life (for about 30 years on average).

Summary/ Conclusion

Modern technologies of cement concrete pavements construction and repair allow the creation of road infrastructure facilities with high performance, long service life and low operating costs.

Cement concrete pavements are particularly advisable for highways with heavy traffic loads, and in terms of the expected traffic load growth.

German experience demonstrates that this type of road is in high demand and has undeniable advantages, provided that the correct technical solutions are applied and the construction technology is carefully observed.

References // Литература

1. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Verkehrsinvestitionsbericht 2010.
2. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Verkehrsverflechtungsprognose 2030.
3. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern: Erhaltungsmanagement von Straßen (25.11.2011).
4. *Hinsch, K., Maerschalk, G., Pingel, C.* Untersuchungen zur Häufigkeitsverteilung von Erhaltungsmaßnahmen und Erhaltungssintervallen aufgrund von Netzanalysen zur Fortschreibung der Bedarfsermittlung für Bundesfernstraßen, Schlussbericht zum FE 9.064. München, April 1990.
5. *Ehrlich, N., Hersel, O.* Straßenbau heute// Betondecken, Erkrath. August 2010.

При должном уровне содержания и своевременном устранении мелких локальных дефектов, крупных ремонтных работ для автодорог с цементобетонным покрытием в течение всего срока эксплуатации (в среднем около 30 лет) практически не требуется.

Выводы/Заключение

Современные технологии строительства и ремонта цементобетонных покрытий позволяют создавать объекты дорожной инфраструктуры с высокими техническими характеристиками, длительным сроком эксплуатации и низкими затратами на их содержание.

Особенно целесообразно устройство таких покрытий на трассах с высокой транспортной нагрузкой, а также с учетом ожидаемого роста интенсивности движения.

Опыт Германии показывает, что дороги с цементобетонным покрытием весьма востребованы и имеют неоспоримые преимущества перед другими видами дорог, при условии применения правильных технических решений и тщательном соблюдении технологии строительства.

ПОДАЧА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Редакция журнала публикует материалы по профильным темам отечественных и зарубежных авторов, нигде ранее не опубликованные и не предназначенные для передачи в другие издания.

Передаваемый в редакцию материал должен сопровождаться:

- Рекомендательным письмом руководителя предприятия (института, отдела, кафедры);
- Подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале Международное аналитическое обозрение «ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси», что она ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания;
- Сопроводительным письмом, в котором указаны фамилия, имя и отчество автора(ов) полностью; сведения об авторе(ах) — ученое звание, ученая степень, место работы/учебы, контактная информация каждого автора — почтовый адрес и адрес электронной почты, номер телефона;
- Распечаткой статьи, обязательно подписанной всеми авторами.

Текст статьи должен включать:

- Название на русском и английском языках;
- Имена и фамилии авторов на русском и английском языках;
- Сведения об авторах на русском и английском языках — ученое звание, ученая степень, место работы/учебы;
- Реферат (500 знаков) — на русском и английском языках;
- Ключевые слова (3–5 слов) на русском и английском языках;
- Коды УДК;
- Список литературы.

Текстовые материалы принимаются в форматах (.doc) или (.rtf).

Иллюстративные материалы, схемы, диаграммы принимаются в форматах (.tif), (.jpg), (.eps), (.ai) и (.cdr) (шрифты конвертированы в кривые).



XIX МЕЖДУНАРОДНЫЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ФОРУМ

ЦЕМЕНТ. БЕТОН. СУХИЕ СМЕСИ

29 ноября — 1 декабря 2017 г. Москва. Экспоцентр



XVIII Международная специализированная выставка **«Цемент. Бетон. Сухие смеси»**

ConLife

IV Глобальная конференция по химии и технологии бетона

MixBuild

XIX Международная научно-техническая конференция **«Современные технологии сухих смесей в строительстве»**

GypMeet

IV Международная научная встреча по гипсу



VI Международный семинар-конкурс молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей

Более **6500**
посетителей
выставки

450 участников
деловой
программы

150 экспонентов

70 докладчиков

15 стран мира



organizers // организаторы



infocem.info / info@alitinform.ru



Nesvetaylo, V. M., Departmental officer of Moscow State Construction Supervision Committee (Load-bearing and separating constructions Department at State Budgetary Institution "Center for Expertise, Research and Testing in Construction" (SBI CERTC), Ph.D., Russia

METHOD OF IMPROVING SURFACE CONDITION OF PREFABRICATED AND CAST-IN-PLACE REINFORCED CONCRETE PRODUCTS AND STRUCTURES

Несветаило В. М., сотрудник Московского государственного строительного надзора (отдел несущих и ограждающих конструкций ГБУ ЦЭИИС), кандидат технических наук, Россия

СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ СБОРНЫХ И МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Abstract

The article describes the causes of defects both on the surface and inside the reinforced concrete structures and products. Currently applicable defect identification methods and equipment for defect measurement are considered. We offer improving methods and instrumental base for defects measurement as well as various means of surface refining of the reinforced concrete structures and products. The newly offered ready-mix concrete production technology allows refining the quality of the reinforced concrete structures surface radically, prolong the life of the reinforced concrete structures and reduce their cost.

Key words: reinforced concrete products and structures, defects, control procedures, innovative technology

Classification and methods of defect detection

It is widely agreed that, in most cases, defects arise in the process of manufacture of reinforced concrete structures and products. It should be noted that currently there is no established classification of concrete structures and products defects. However, they can roughly be classified as surface and interior defects.

Surface defects are shrinkage cracks, foreign inclusions, crushed edges, incompletely compacted by compression (by vibration) areas, irregularities, lack of protective layer all the way down the exposure of steel, cavities, humidification and filtration of water (in winter period), efflorescence, oil and rust stains.

Internal defects are gaps resulted by hang-up of concrete mixture on the reinforcement cage during

Аннотация

В данной статье изложены причины возникновения дефектов как на поверхности, так и внутри железобетонных конструкций и изделий. Авторами рассмотрены применяемые в настоящее время методики выявления дефектов и приборы для их измерения. Даны предложения по совершенствованию методик и инструментальной базы для измерения дефектов. Предложены различные способы улучшения поверхности железобетонных изделий и конструкций, а также новая технология приготовления бетонных смесей, которая позволяет радикально улучшить качество поверхности железобетонных изделий и конструкций, повысить долговечность железобетонных конструкций и снизить их себестоимость.

Ключевые слова: железобетонные изделия и конструкции, дефекты, методики контроля, инновационная технология

Классификация и методики выявления дефектов

По общепринятым представлениям, в большинстве случаев дефекты возникают на стадии изготовления железобетонных конструкций и изделий. Необходимо отметить, что утвержденной классификации дефектов железобетонных конструкций и изделий не существует. Тем не менее дефекты железобетонных конструкций и изделий условно можно разделить на поверхностные и внутренние.

Поверхностные дефекты — это усадочные трещины, инородные включения, околы ребер, недоуплотненные (непровибрированные) участки, неровности, отсутствие защитного слоя вплоть до оголения

its rapid thickening and dense reinforcement, power cracks formed due to soil subsidence and premature or inappropriate loading of concrete structures and products, wrong location of concrete joints and lack of contact between concrete layers in the joint occurring due to concreting pauses.

Surface cavities are resulted by air entrapment in case of the lubricant thick consistency and its uneven application. Incompletely compacted areas are formed because of the insufficient plasticity of the concrete mixture and its quick cementation. Exposure of reinforcement arises due to improper formwork installation. Shrinkage cracks occur due to improper heat and humidity concrete processing. Loose connection of surfaces in the concrete joints and their wrong location in relation to the structures axes is a consequence of irregularities in concrete pouring procedure.

The statistical data of inspected reinforced concrete structures analyzed by our organization have demonstrated that cast-in-place reinforced concrete structures contain about 30% of incompletely compacted concrete areas, about 20% of cracks of different nature, and 30% of defective concrete joints, while cracks and crushed edges are most common defects of the reinforced concrete products. It should be noted that the requirements for concrete products and structures in terms of surface quality vary considerably (see **Table 1**).

When identifying defects our organization is guided by the requirements of the following regulatory documents: SNiP 52-01-2003 “Concrete and reinforced concrete structures. Principal Rules”, Code of practice SP 63.13330.2012 “Concrete and reinforced concrete structures”, SP 70.13330.2012 “Load-bearing and separating constructions” and GOST 13015-2012 “Concrete and reinforced concrete products for construction. General technical requirements” [1-4]. At the same time, we grade the defects identified by the degree of danger into minor, major and critical, enabling us to make more objective conclusions on the compliance of the examined structures and products with regulatory requirements and project documentation. In our surveys, we pay attention mostly to the following defects:

- All kinds of cracks;
- Exposure of reinforcement;
- Gaps and cavities;
- Foreign inclusions;
- Incorrect location of concrete joints;
- Incompletely compacted areas.

In case of instrumental measurement of defects we use the instruments, specified in GOST 26433.1-89 “System of ensuring geometrical parameters accuracy

арматуры, раковины, увлажнение и фильтрация влаги (в зимний период), высолы, масляные и ржавые пятна.

Внутренние дефекты — это пустоты, образующиеся из-за зависания бетонной смеси на арматурном каркасе при ее быстром загустевании и густом армировании, силовые трещины, образующиеся из-за просадки грунта и преждевременного или неправильного нагружения конструкций и изделий, неправильное расположение швов бетонирования и отсутствие контакта между слоями бетона в шве при перерывах в бетонировании.

Раковины на поверхности образуются из-за защемления воздуха при густой консистенции смазки и ее неравномерном нанесении. Недоуплотненные участки образуются из-за недостаточной подвижности бетонной смеси и ее быстрого схватывания. Оголение арматуры образуется из-за неправильной установки опалубки. Усадочные трещины образуются из-за неправильной тепловлажностной обработки бетона. Отсутствие контакта поверхностей в шве бетонирования и их неправильное расположение относительно осей конструкции является следствием нарушения технологии бетонирования.

Анализ статистических данных по проведенным нашей организацией обследованиям железобетонных конструкций показал, что в монолитных железобетонных конструкциях около 30% составляют недоуплотненные участки бетона, около 20% — трещины различного характера и 30% составляют дефекты швов бетонирования, а в железобетонных изделиях наиболее часто встречаются трещины и околы ребер. Необходимо отметить, что требования к изделиям и конструкциям с точки зрения качества поверхности достаточно сильно различаются (см. **табл. 1**).

Наша организация при выявлении дефектов ориентируется на требования следующих нормативных документов: СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», своды правил СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» и СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции», а также ГОСТ 13015-2012 «Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования» [1-4]. При этом мы разделяем выявленные дефекты по степени опасности на малозначительные, значительные и критические. Это позволяет делать более объективные выводы о соответствии обследованных конструкций и изделий требованиям проектной и нормативной документации. При проведении обследований мы обращаем внимание в основном на следующие дефекты:

- трещины всех видов;
- оголение арматуры;
- пустоты и раковины;
- посторонние включения;

Table 1. Surface quality requirements for concrete products and structures

Таблица 1. Требования к качеству поверхности железобетонных изделий и конструкций

Characteristics // Показатели	Products (GOST 13015–2012) // Изделия (ГОСТ 13015–2012)	Constructions (SP 70.13330.2012) // Конструкции (СП 70.13330.2012)
Concrete surface category // Категория бетонной поверхности	A1 (glossy) to A7 (hidden surfaces) // от А1 (глянцевая) до А7 (скрываемые поверхности)	A3 (for improved paintwork) to A7 (hidden surfaces) // от А3 (под улучшенную окраску) до А7 (скрываемые поверхности)
Oil and rust stains // Жировые и ржавые пятна	not allowed // не допускаются	not allowed (except for A7) // не допускаются (кроме А7)
Diameter of cavities, mm // Диаметр раковин, мм	0–20	4–20
Height of local fin, mm // Высота местного наплыва, мм	0–5	10–20
Depth of crushed edge, mm // Глубина окола на ребре, мм	2–20	5–20
Cracks, not more than, mm // Трещины, не более, мм	0,1–0,2	0,1–0,4
Exposed reinforcement // Оголение арматуры	not allowed // не допускается	
Incompletely compacted areas // Недоуплотненные участки	not regulated // не регламентируется	not allowed // не допускаются
Strength of concrete surface contact in construction joint // Прочность контакта поверхностей бетона в шве бетонирования	not regulated // не регламентируется	must be provided // должна быть обеспечена
Construction joint location // Расположение рабочего шва бетонирования	not regulated // не регламентируется	joint surface must be perpendicular to the axis of the columns and beams, surface of walls and slabs // поверхность шва должна быть перпендикулярна оси колонн и балок, поверхности плит и стен

in construction. Rules of measurement. Prefabricated elements”, and other instruments and equipment, such as:

- Brinell microscope with a scale interval of 0.02 mm to measure the crack opening displacement;
- Pulsar 2.2 device to measure the depth of cracks;
- ruler to measure the size of cavities (diameter) and caliper (depth);
- ruler to measure incompletely compacted areas, foreign inclusions and exposed reinforcement;
- angle to measure the depth near the edges.

Upon cracks detection we measure the displacement of their opening. Upon detection of the exposed reinforcement, cavities and gaps, incompletely compacted areas and foreign inclusions we determine their size. As for concrete joints, we fix their position in relation to the structure axes and contact absence between the concrete surfaces in the joint. Recently

- неправильное расположение швов бетонирования;
- недоуплотненные участки.

При инструментальном измерении дефектов нами используются приборы, указанные в ГОСТ 26433.1–89 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Элементы заводского изготовления» и некоторые другие приборы и оборудование:

- для измерения ширины раскрытия трещин используется микроскоп Бринелля с ценой деления 0,02 мм;
- для измерения глубины трещин используется прибор Пульсар 2.2;
- для измерения размеров раковин используется линейка (диаметр) и штангенциркуль (глубина);

we have started using ultrasonic devices in addition to other means of instrumental defect measurement, which gives us a more objective pattern. Thus, measuring the crack opening displacement, for example, enables us to find out whether it is of structural nature affecting load-bearing capacity, or non-structural nature (shrink effect). Ultrasonic method can also detect the presence or absence of contact between the concrete layers in the concrete joint and the edges of incompletely compacted areas of concrete. In addition, we started to use MIRA ultrasound scanner to detect the internal defects (cavities of various kinds, misplacement of reinforcement, etc.).

Causes of defects in structures and products

Modern technology of cast-in-place construction involves the use of concrete mixtures with a cone slump of 16–24 cm. These mixtures contain much entrapped air that contacts with formwork and remains on it after concrete setting and removal of the formwork, and leaves various cavities of different size on the concrete surface. The grease on the surface of formwork also facilitates adhesion of air bubbles. Moreover, such mixtures have a propensity for segregation and water separation and therefore they lead to uneven distribution of density and low durability of cast-in-place structures.

Reinforced concrete products manufacturing procedure differs from the structures erection technology. In addition to the above, higher surface quality demands are traditionally set for reinforced concrete products (see Table). There are several causes for deterioration of concrete products' surface quality, the most important of which are uneven application of grease on the surface of the formwork, insufficient compaction of concrete mixture and its wrong recipe. The principal difference of reinforced concrete products manufacturing technology is the use of much less plastic concrete mixtures – instead of the mixture with cone slump of 20–24 cm, a mixture with a slump of 4–8 cm is used. Such mixtures contain much less entrained air and enable to obtain high surface category, up to A1 during horizontal casting. However, during cassette-type production process (vertical molding) air entrapment on the mold surface takes place at any consistency of grease, so cavities formation is unavoidable. In addition, in case of intensive vibration, which is typical for reinforced concrete products manufacturing technology, there is an additional air entrainment in the concrete mixture, which also leads to the cavities occurrence.

It is widely believed that concrete mixtures of high quality must contain a total of 500–600 kg (per cubic meter) of finely divided components in the form of cement and inert microfiller. However, in Russia finely divided components in the concrete mixture are represented by cement only and comprise 300–400 kg. This causes the appearance of defects on the surface and inside of reinforced concrete products and structures. The use of self-compacting concrete mixtures is a common

- для измерения размеров недоуплотненных участков, посторонних включений и оголения арматуры используется рулетка;
- для измерения глубины около ребер используется угольник.

При обнаружении трещин проводятся измерения ширины их раскрытия. При обнаружении оголённой арматуры, раковин и пустот, недоуплотненных участков и посторонних включений определяются их размеры. Для швов бетонирования фиксируются их положение относительно осей конструкции и отсутствие контакта бетонных поверхностей в шве. В последнее время при инструментальном измерении дефектов нами дополнительно используются ультразвуковые приборы, которые позволяют получить более объективную картину. Измерение глубины трещины, например, позволяет отнести ее к конструкционной, влияющей на несущую способность конструкции либо к неконструкционной (усадочной). Ультразвуковой метод позволяет также определять наличие или отсутствие контакта слоев бетона в рабочем шве бетонирования и границы недоуплотненных участков бетона. Кроме того, для выявления внутренних дефектов (полости различного характера, неправильное расположение арматуры и прочее) мы начали применять ультразвуковой томограф «МИРА».

Причины возникновения дефектов в конструкциях и изделиях

Современная технология возведения монолитных конструкций предполагает применение бетонных смесей с осадкой конуса 16–24 см. Такие смеси содержат много вовлеченного воздуха, который при контакте с опалубкой остается на ней и после затвердевания бетона и снятия опалубки оставляет на поверхности бетона раковины различного размера. Прилипанию воздушных пузырьков способствует также густая смазка на поверхности опалубки. Кроме того, такие смеси склонны к расслоению и водоотделению и по этой причине приводят к неравномерному распределению плотности и низкой долговечности монолитных конструкций.

Технология изготовления железобетонных изделий имеет некоторые отличия от технологии возведения конструкций. При этом к железобетонным изделиям традиционно предъявляются более высокие требования к качеству поверхности (см. табл.). Существует несколько причин ухудшения качества поверхности железобетонных изделий, основными из которых можно признать неравномерное нанесение смазки на поверхность формы, недостаточно эффективное уплотнение бетонной смеси и ее неправильная рецептура. Основным отличием технологии изготовления железобетонных изделий является применение гораздо менее пластичных бетонных смесей — вместо смеси с осадкой конуса 20–24 см применяется смесь с осадкой конуса 4–8 см. Такие смеси содержат гораздо меньше вовлеченного воздуха и при горизонтальном формовании позволяют получать поверхности достаточно высокой категории, вплоть до А1. Однако при

solution to improve surface quality of concrete products and structures.

Proposals for improving control procedures

The work on defect detection in our organization has been established and is carried out on a scheduled basis. However, we must keep on improving both the procedures and control tools. Having analyzed the existing and applicable defects identification and measuring procedures, we would like to offer the following:

1. Further updating of the list of defects to be detected during the products and structures inspection and their more detailed classification in terms of danger. In particular, it would be advisable to introduce an additional defect gradation in terms of reparability, namely to introduce such defect categories as repairable or non-repairable defects.
2. Brinell microscope which is inconvenient in construction conditions for instrumental measurement of crack opening displacement should be replaced with a set of needle-type probes ensuring measurement accuracy at the level of 0.02 mm (like a microscope).
3. Establish determination of the cracks depth, since it would enable to classify the detected cracks either as unrestrained shrinkage for cracks with depth of up to 5% of the construction thickness, or as stress cracking for cracks with depth of more than 5%.
4. In the presence of cavities, the surface quality of the reinforced concrete products and structures should be made by categories (A1–F7) only. The surface quality evaluating methods which are based on the differential porosity indicators (average pore size and their size variation coefficient) with its reference to GOST 13015 [5] are also worth considering.
5. It is mandatory to control slump flow and water separation in concrete mixtures during concrete pouring process.

Proposals for defects reduction

The analysis of all abovementioned proves that the problem of surface quality improving of concrete products and structures can be solved in different ways. According to the author, these methods can be arranged by a degree of availability and cost, in the following order:

1. To apply lubricant on the forms and formwork by means of mechanical methods only.

кассетном способе производства (вертикальное формование) при любой консистенции смазки происходит защемление воздуха на поверхности формы и неизбежное образование раковин. Кроме того, при интенсивном вибровоздействии, характерном для технологии изготовления железобетонных изделий, происходит дополнительное воздухововлечение в бетонную смесь, что также приводит к образованию раковин.

Необходимо отметить — во всем мире считается, что качественные бетонные смеси должны суммарно содержать 500–600 кг (на кубометр) мелкодисперсных компонентов в виде цемента и инертного микронаполнителя. Однако в России мелкодисперсные компоненты в бетонной смеси составляют 300–400 кг и представлены только цементом. Это и обуславливает появление дефектов на поверхности и внутри железобетонных изделий и конструкций. Общепринятым решением проблемы повышения качества поверхности железобетонных изделий и конструкций считается применение самоуплотняющихся бетонных смесей.

Предложения по совершенствованию методик контроля

Работа по выявлению дефектов в нашей организации налажена и проводится в плановом порядке. Однако необходимо продолжать совершенствовать как методики, так и инструменты контроля. После анализа существующих и применяемых нами методик выявления и измерения дефектов хотелось бы предложить следующее:

1. Продолжить уточнение перечня дефектов, которые подлежат выявлению при обследовании изделий и конструкций и их более детальную привязку к классификатору опасности дефектов. В частности, можно было бы ввести дополнительную градацию дефектов по признаку ремонтнопригодности, а именно ввести такие категории дефектов, как устранимый или неустранимый.
2. При инструментальном определении ширины раскрытия трещин заменить неудобный в строительных условиях микроскоп Бринелля на набор щупов игольчатого типа при обеспечении точности измерений с его помощью на уровне 0,02 мм (как у микроскопа).
3. Узаконить определение глубины трещин, поскольку это позволяет отнести выявляемые трещины к усадочным, глубиной до 5% толщины конструкции или к силовым — глубиной более 5% толщины конструкции.
4. При наличии раковин оценку качества поверхности железобетонных изделий и конструкций производить только по категориям (A1–Ф7). Заслуживает также рассмотрения методика оценки качества поверхности, в основу которой положены показатели дифференциальной пористости (средний размер

2. To use a filler with maximum aggregate size of 10 mm for concrete mixtures preparation.
3. To use cements containing more than 50% of mineral additives. At the same time, the content of cement in the concrete mixture should be increased by 30–40%. The use of blast furnace cement (containing 80% of ground slag) may be most effective in this regard.
4. To recover concrete mixtures consistency prior to their pouring only by means of additional introduction of small amount of plasticizer.
5. It is mandatory to add fine ground component (mineral supplement) when preparing concrete mixtures. Reference: In many countries adding fine ground component into the concrete mixture is legislated.
6. Use innovative (two-stage) concrete mixing technology [6].

The first stage is mixing cement, plasticizer and mineral additive, and the second is preparation of concrete mixture by traditional technology using existing concrete mixing equipment. In concrete mixtures prepared according to the proposed technology, there is practically no water separation and segregation, although at the same time they have a very plastic consistency (slump flow of more than 500 mm). Using the proposed technology results in very high surface quality. Both mixer for dry mixtures production and ball mill can be used during the first stage of the technology proposed. When using ball mill mechanical and chemical activation of the cement takes place, and therefore it is possible to reduce its consumption. A two-stage procedure is particularly advantageous in the manufacture of modern concrete mixtures containing various components (cement, microfiller, plasticizer, hardening accelerator or retarder, antifreeze additive stabilizer in underwater concreting, etc.).

Conclusions

1. It should be admitted that the currently used technology of concrete mixtures production and pouring does not guarantee high quality of the surfaces of concrete products and structures. High-quality surfaces of concrete products are only possible with horizontal molding of products (face down). For cast-in-place structures the A3 surface quality category maximum may be obtained.
2. A substantial increase in surface quality of reinforced concrete products and cast-in-place structures is possible only in case of mandatory addition of fine ground component into concrete mixtures.
3. Drastic improvement of surface quality of products and structures can be achieved by switching to

пор и коэффициент вариации их размеров) с ее привязкой к ГОСТ 13015 [5].

5. При укладке бетонных смесей в обязательном порядке контролировать расплыв конуса и водоотделение бетонных смесей.

Предложения по снижению дефектности

Анализ вышеизложенного показывает, что проблема повышения качества поверхности железобетонных изделий и конструкций может решаться разными способами. По мнению автора, по степени доступности и стоимости эти способы можно расположить в следующем порядке:

1. Нанесение смазки на формы и опалубку только механизированным способом.
2. При приготовлении бетонных смесей использовать заполнитель максимальной крупности 10 мм.
3. Использовать цементы, содержащие в своем составе более 50% минеральных добавок. Содержание цемента в бетонной смеси при этом должно быть повышено на 30–40%. Наиболее эффективным в этом плане может быть использование шлакопортландцемента (содержит до 80% молотого шлака).
4. Производить восстановление консистенции бетонных смесей перед их укладкой в конструкции только при помощи дополнительного введения небольшого количества пластификатора.
5. При изготовлении бетонных смесей в обязательном порядке вводить тонкомолотый компонент (минеральную добавку). Справка: во многих странах ввод в бетонные смеси тонкомолотых компонентов закреплен на законодательном уровне.
6. Применять инновационную (двухстадийную) технологию приготовления бетонных смесей [6].

Первая стадия — смешивание цемента, минеральной добавки и пластификатора, а вторая — приготовление бетонной смеси по традиционной технологии с использованием существующего оборудования БСУ. В бетонных смесях, приготовленных по предлагаемой технологии, практически отсутствует водоотделение и расслоение, хотя они при этом имеют очень пластичную консистенцию (расплыв конуса более 500 мм). Качество поверхности при использовании предлагаемой технологии получается очень высоким. В предлагаемой технологии на первой стадии может быть использован как смеситель для изготовления сухих смесей, так и шаровая мельница. В случае использования шаровой мельницы происходит механохимическая активация цемента и соответственно появляется возможность сокращения его расхода. Двухстадийная технология особенно выгодна при изготовлении современных бетонных смесей, содержащих большое количество

a two-stage technology. When this happens, separate production of microfillers will become unnecessary.

компонентов (цемент, микронаполнитель, пластификатор, замедлитель или ускоритель твердения, противоморозная добавка, стабилизатор при подводном бетонировании и т.п.).

References // Литература

1. СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
2. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции».
3. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции».
4. ГОСТ 13015–2012 «Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования».
5. Грицюк Т.В. Повышение качества лицевых поверхностей железобетонных изделий // ВШШЭСМ, сер. 3 «Промышленность сборного железобетона», вып. 6. М., 1990.
6. Несветайло В.М. Инновационная технология монолитного строительства // Технологии бетонов. № 6, 2014.

Выводы

1. Следует признать, что применяемые в настоящее время технологии изготовления и укладки бетонных смесей не гарантируют получение высокого качества поверхностей железобетонных изделий и конструкций. Получение высокого качества поверхностей железобетонных изделий возможно только при горизонтальном формовании изделий (лицом вниз). Для монолитных конструкций возможно получение категории поверхности не выше А3.
2. Существенное повышение качества поверхности железобетонных изделий и монолитных конструкций возможно только при обязательном введении в бетонные смеси тонкомолотого компонента.
3. Радикальное улучшение качества поверхности изделий и конструкций может быть достигнуто при переходе на двухстадийную технологию. При этом отдельное производство микронаполнителей станет ненужным.



BIBM Congress 2017 –
in cooperation with CPI

Event: Organizer: In Cooperation with:

Gold Sponsors:

Sponsors:

Supporter: Airline partner:

www.bibmcongress.eu

ВСЕРОССИЙСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
БЕТОНА



МОСКВА
ВКПБ' 2017

Приглашаем вас принять участие во Всероссийской Конференции
Производителей Бетона «ВКПБ' 2017»

Основной задачей Конференции является обсуждение опыта
применения новейших технологий в производстве бетонов и
железобетонных изделий, а также факторов, влияющих на их
качество и потребительские свойства.

2017

МОСКВА

Организатор:



Организатором «ВКПБ' 2017» выступает:
ООО «Полипласт Новомосковск» лидер отечественного рынка
высокотехнологичных добавок в бетоны и строительные растворы.

Информационный партнер:



Уникальное специализированное межотраслевое издание,
объединяющее различные направления в производстве цемента,
бетона, сухих строительных смесей и всесторонне освещающее
эту тему с научно-практической точки зрения.



Регистрация партнеров и участников конференции
производится по телефону: 8 (920) 278 - 57 - 63

www.beton-conf.ru

GIORNATE ITALIANE DEL CALCESTRUZZO — ITALIAN CONCRETE DAYS, NOVEMBER 10–12, 2016

ДНИ БЕТОНА В ИТАЛИИ. ПЬЯЧЕНЦА, 10–12 НОЯБРЯ 2016 г.

Great success for the first edition of GIC–Italian Concrete Days

The first edition of GIC–Italian Concrete Days closed on Saturday November 12th. GIC, on its debut in the Italian trade-fair market, achieved results that far surpassed the best expectations, arousing interest, appreciation and great satisfaction among the over 120 exhibitors and around 3,000 visitors. The official and certified figures will be available soon on www.gic-expo.it website with an indication of the geographical region of origin. Certification was purposely required by the show organizer as a matter of transparency and respect towards the exhibitors, who supported this first edition of GIC that proved to be a worthy initiative responding to a real market need.

The industry operators were positively impressed by the novelty of a vertical exhibition only dedicated to the concrete industry and by the high specialization of the qualified visitors. The wide series of topics covered by the conferences organized during the entire duration of the show aroused great interest, too. In fact, GIC participants, in addition to having a full overview of the product offer on the various stands, had the opportunity

Большой успех первой торгово-промыш- ленной выставки-ярмарки «Дни бетона в Италии»

В ноябре 2016 г. в г. Пьяченца состоялась первая выставка «Дни бетона в Италии». Дебют мероприятия в сегменте выставок-ярмарок Италии намного превзошел самые смелые ожидания и вызывал глубокий интерес и удовлетворение среди 120 участников и более чем 3000 посетителей выставки. Официальная информация по состоявшемуся мероприятию доступна на сайте выставки по адресу www.gic-expo.it. Организатор «Дней бетона в Италии» особо отметил важность открытого формата выставки и взаимного уважения всех участников, поэтому до начала мероприятия было необходимо пройти процедуру регистрации. Выставка получила высокую оценку посетителей и полностью соответствовала актуальным потребностям рынка.

Большое впечатление на целевую аудиторию — компании, работающие в строительной сфере — произвел новый, специализированный подход к организации выставки, полностью посвященной бетонной отрасли. Высоко оценили участники и профессиональный уровень специалистов,





to attend workshops and conferences focusing on specialized and innovative themes: the latest news in the additives industry, concrete pavements and flooring for logistics, ports and airports, controlled demolition and consolidation technology of reinforced concrete structures in seismic areas.

Last but not least, some exhibitors said they closed important deals during the exhibition, even on the first day of GIC! On www.gic-expo.it there are some downloadable interviews with a few exhibitors, with their direct impressions and comments about the event.

More than 30 industry associations and institutions have contributed to the success of GIC 2016 with their support to the event, including the one of the Italian Ministry of Infrastructure and Transport: a strong and important signal, which proves the interest from the political and institutional world to an event that can really give a new push to innovation and growth of the construction industry.



принявших участие в мероприятии. Кроме того, актуальным оказался и широкий спектр тем, представленных в ходе конференций во время работы выставки. Участники мероприятия «Дни бетона в Италии» фактически получили возможность не только непосредственно ознакомиться с продукцией, представленной на многочисленных стендах, но и принять участие в заседаниях рабочих групп и конференциях, посвященных отдельным специальным темам. Обсуждения проходили в инновационном ключе: были затронуты последние новости в области добавок к бетону и вопросы устройства бетонных дорожных покрытий для решения логистических задач, при строительстве портов и аэропортов. Также обсуждались технологии регулируемой разборки и усиления конструкций в сейсмически опасных районах.

Некоторым участникам удалось заключить крупные сделки и провести успешные переговоры уже в первый день работы выставки! На сайте мероприятия www.gic-expo.it можно найти видеointервью с несколькими участниками выставки, в котором они делятся своими впечатлениями и комментируют прошедшее событие.

Успешному проведению выставки «Дни бетона в Италии 2016» способствовала поддержка более 30 промышленных ассоциаций и государственных органов власти. Так, поддержку выставке оказало Министерство инфраструктуры и транспорта Италии. Это явилось серьезным сигналом об интересе государства к состоявшемуся событию. Мы полагаем, что такой интерес может дать толчок развитию и применению инноваций в строительной отрасли.



Gala Dinner and ICTA–Italian Concrete Technology Awards Ceremony in the Alberoni Museum

Great success was the Gala Dinner as well, being organized in the beautiful Hall of Tapestries of the Alberoni College in Piacenza. Over 120 people enjoyed the enchanting event, during which the ICTA–Italian Concrete Technology Awards were delivered to the companies and entrepreneurs that put themselves in the spotlight of attention for their activities in the previous year. Apart from the several companies awarded in the different categories, a number of special Lifetime Achievement Awards were given to: Dr Giorgio Squinzi (MAPEI) in the category “Materials and Additives Producer”, Mr Benedetto Di Maria (D. B. SYSTEM) in the category “Machinery & Equipment Manufacturer”, Prof. Mario Collepardi (ENCO) in the category “Consulting/Engineering Firms” and Eng. Giuseppe Parenti (PAVER) in the category “Precast Concrete Producer”.



Гала-ужин и церемония вручения ICTA — национальной премии Италии в области технологии бетона — в Музее Альберони

С большим успехом прошел и гала-ужин, который состоялся в прекрасном Зале гобеленов Колледжа Альберони в Пьяченце. На ужине присутствовали более 120 гостей. Кульминацией мероприятия стало вручение национальной премии Италии в области технологии бетона компаниям и предпринимателям, достигшим особо выдающихся успехов в прошедшем году. Награды в различных номинациях конкурса получили несколько компаний. Кроме того, призами за достижения в профессиональной сфере были отмечены многие специалисты: д-р Джорджио Скуинци (компания MAPEI) получил памятный знак в категории «Производство материалов и добавок», г-н Бенедетто ди Мария (компания D. B. SYSTEM) был награжден в категории «Производство машин и оборудования», профессор Марио Коллепарди (компания ENCO) удостоился награждения в категории «Инженерно-технические и консультационные компании», а специалист-инженер Джузеппе Паренти (компания PAVER) — в категории «Производство сборных железобетонных изделий».

Гости гала-ужина имели прекрасную возможность установить новые деловые контакты и укрепить существующие связи, обменяться мнениями с представителями органов государственной власти и профессиональных ассоциаций. В числе гостей церемонии можно назвать мэра Пьяченцы Паоло Доси, директора Высшего совета по гражданскому строительству Антонио Лукчезе, заместителя министра экономики и финансов г-жу Паолу Де Микели, а также г-на Хосе Бланко из Ассоциации



The gala dinner also offered great networking opportunities, where people could share information with some prominent figures from the political world and the concrete industry. Among the guests attending the award ceremony, there were the Mayor of Piacenza Paolo Dosi, Eng. Antonio Lucchese (Director of the Higher Council of Public Works), Ms Paola De Micheli (Under-Secretary of State for Economy and Finance) and Mr José Blanco from Spanish Concrete Repair Association, whose project is to institute a European Centralized Concrete Repair and Protection Association.

“The final impression,” concludes Fabio Potestà, Director of Mediapoint & Communications and Organizer of GIC, “is extremely positive, both in terms of exhibitors, visitors and logistics choice. Given its location and size, the Piacenza exhibition center is of strategic quality for a niche event like GIC. I hope that some initially skeptical visitors of the very first edition of a new trade show format, given the results, can turn into exhibitors in the future. We can already communicate the new dates: next GIC Italian Concrete Days will be held, again in Piacenza, from 8th to 10th November 2018”.

по ремонту железобетонных конструкций Испании, возглавляющего проект по учреждению Общеευропейской централизованной ассоциации по ремонту и защите ЖБИ.

«Я оцениваю прошедшие «Дни бетона в Италии», — подводит итоги Фабио Потеста, директор медиакомпании Mediapoint & Communications и организатор выставки, — как исключительно успешное мероприятие как с точки зрения условий для работы участников и посетителей, так и с точки зрения логистики. С учетом места проведения и масштаба мероприятия Пьяченца является стратегическим пунктом для такого нишевого события, как «Дни бетона в Италии», или GIC. Я надеюсь, что, оценив результаты прошедшего мероприятия, те посетители, которые первоначально сомневались в успехе первой торгово-промышленной выставки-ярмарки нового формата, в будущем станут ее участниками. Уже сегодня мы можем сообщить даты проведения следующего мероприятия: вторая выставка «Дни бетона в Италии» состоится также в Пьяченце, 8–10 ноября 2018 г.».





¹ Lecomte, J.-P., Dow Corning, Belgium, ² Milenković, N., Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium,

³ Giesecke, A., Dow Corning, Germany

SILANE AND SILICONE RESIN AS INTEGRAL WATER REPELLENT FOR CEMENT BASED MATERIALS — IMPACT ON CEMENT HYDRATION PROCESSES

¹ Леконт Ж.-П., Dow Corning, Бельгия, ² Миленкович Н., Брюссельский свободный университет, Брюссель, Бельгия,

³ Гизекке А., Dow Corning, Германия

СИЛАН-СИЛИКОНОВЫЕ СМОЛЫ В КАЧЕСТВЕ ГИДРОИЗОЛИРУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА В СОСТАВЕ ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ВЛИЯНИЕ НА ГИДРАТАЦИЮ ЦЕМЕНТА

Abstract

Use of an emulsion of silane as integral water repellent for cement based materials is illustrated. Results show that the main hydration processes are only slightly affected. However, hydration of cement is slightly delayed at high addition levels, leading to some limited drop of mechanical properties.

Key words: mortar, cement, silicone, silane, admixtures, water repellent

Introduction

The porous structure of construction materials based on Ordinary Portland Cement leads to high sensitivity to capillary water absorption. Control of water absorption is therefore key to reduce various kinds of water-induced damages such as efflorescence, staining, scaling due to freeze–thaw cycles, chemical attack and corrosion to reinforcing steel. Post treatment of silane/siloxane water repellent has demonstrated to be a reliable, long lasting solution to minimize water penetration within inorganic construction material [1, 2]. In the last 5–10 years, silane, siloxane or silicone resin-based started to be used as “integral water repellent” in mortar and concrete [3, 4]. This is now an established technology, of which benefits are well accepted [5, 6]. As the technology is nowadays gaining increased interest, it is important to pursue more fundamental studies to better understand the impact of these hydrophobers on the cement hydration processes.

Silanes are molecules based on one silicon atom which bears four substituents. Alkyl trialkoxysilanes (see Fig. 1) are used to formulate water repellents, either for post-treatment or admixture as they have good reactivity towards inorganic, silanol-rich surfaces. Upon hydrolysis and condensation, silanes create a resinous network which can bind covalently to the surface of inorganic materials.

Аннотация

В настоящей статье рассматривается применение эмульсии силанов в качестве гидрофобной добавки для материалов на цементной основе. Результаты исследований показали, что такие добавки незначительно влияют на основные процессы гидратации. Однако при повышении содержания силанов гидратация цемента несколько замедляется и наблюдается незначительное снижение механических показателей.

Ключевые слова: растворная смесь, цемент, силикон, силан, добавки, гидрофобизатор

Введение

Пористая структура строительных материалов на основе обычного портландцемента обуславливает высокий уровень поглощения капиллярной воды. Соответственно, регулирование водопоглощения является наиболее эффективным решением для снижения образования таких гидрогенных дефектов, как высолы, изменение цвета, отслоение и шелушение при циклическом замораживании и оттаивании, химическом воздействии и коррозия стальной арматуры. Дополнительная обработка гидрофобными составами на основе силанов/силоксанов доказала надежность и долгосрочный эффект данного решения для минимизации проникновения воды в неорганические строительные материалы [1, 2]. В последние 5–10 лет силаны и смолы на основе силоксанов или силиконов стали применять в качестве гидрофобных добавок для растворов и бетонов [3, 4]. Сейчас это уже устоявшаяся, хорошо зарекомендовавшая себя технология [5, 6]. Учитывая все возрастающий интерес к данной технологии, важно провести исследования для получения более полного понимания влияния гидрофобных добавок на процессы гидратации цемента.

The aliphatic chain (i.e. isobutyl or octyl chain) confers the hydrophobic character to the treated substrate and resistance against alkaline environment.

Silicone resins are obtained by a sequence of controlled hydrolysis and condensation reactions of individual or mixtures of silanes.

Silicone resin with alkoxy groups and hydrophobic alkyl groups can be designed such as to diffuse within the cement matrix and react with the pore's surface. The reaction leads to a chemical anchorage to the treated materials, while the alkyl group provides the hydrophobic character to the treated surface.

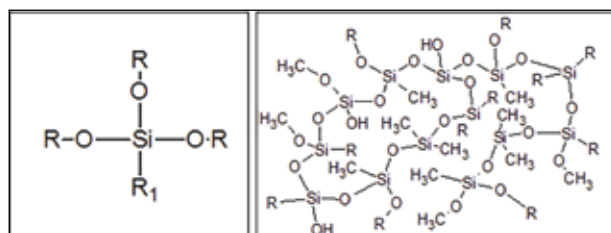


Fig. 1. Structure of an alkyl trialkoxysilane and schematic representation of a silicone resin (R can be ethoxy, methoxy, methyl, phenyl or octyl group)

Рис. 1. Структура алкилтриалкоксилана и схематическое изображение силиконовой смолы (смола может быть этоксильной, метоксильной, метильной, фенильной или октильной группы)

It is often the case that the neat silanes, siloxanes or silicon resins used as water repellent active materials need to be further formulated to enable their effective use. Preparation of oil-in-water emulsion of silanes enables their easy incorporation and dispersion in cement, mortar or concrete slurries.

This paper is concentrating on a silane-based hydrophobic additives formulated as an emulsion and used as “integral water repellent” in cement paste and mortar. Its aim is to examine the influence of bulk waterproofing treatment on the cement hydration process. Micro and macro structural analysis of cement hydrates were carried out.

Experimental

A non-ionic emulsion (IE 6692 from Dow Corning, referred in this document as “IE”) was used as integral water repellent. The active ingredients are mainly a silane (n-octyltriethoxysilane) and a silicone resin. Its influence on the hydration processes of CEM I 52.5 R LA ordinary Portland cement and CEM III/A 42.5 N LA Blast Furnace Slag (BFS) cement (45.7% slag content) was studied.

Specimen preparation and characterization

Both cement pastes and mortars were prepared. For cement pastes, the amount of IE silane emulsion

Силаны — это молекулы на основе атома кремния с четырьмя замещающими атомами. Алкилтриалкоксиланы (см. рис. 1) легко вступают в реакцию с неорганическими материалами с высоким содержанием силанолов, и поэтому применяются для изготовления гидрофобизаторов как в качестве дополнительной обработки, так и добавок. Во время гидролиза и конденсации силаны создают смолообразную структуру с помощью ковалентной связи с поверхностью неорганических материалов. Алифатическая цепочка (т.е. изобутиловая или октиловая цепочка) придает обработанной поверхности гидрофобные свойства, а также устойчивость к воздействию щелочной среды.

Силиконовые смолы получают путем последовательности контролируемых реакций гидролиза и конденсации отдельных силанов или их смесей.

Силиконовые смолы с алкоксильными группами и гидрофобными алкильными группами могут быть составлены таким образом, чтобы обеспечить их диффузию в цементной матрице и реакцию с поверхностью пор. В результате этой реакции формируется химическая связь с подложкой, в то время как алкильная группа придает гидрофобные свойства обработанной поверхности.

Часто для повышения эффективности использования в чистом виде силанов, силоксанов или силиконовых смол, которые применяются в качестве активных добавок гидрофобных составов, требуется их дальнейшая доработка. Использование водных эмульсий силанов позволяет упростить введение добавки и обеспечить однородность распределения в цементных, растворных или бетонных смесях.

В настоящей статье рассматриваются гидрофобизаторы на основе силана в виде эмульсии, которые применяются в качестве гидрофобных добавок для цементных составов. Цель данной работы заключалась в исследовании влияния общей гидрофобизации на процесс гидратации цемента. Был проведен анализ микро- и макроструктуры кристаллогидратов цемента.

Описание эксперимента

В качестве гидрофобной добавки использовалась неионная эмульсия IE 6692 производства компании Dow Corning (далее IE). Ее активные ингредиенты представлены в основном силаном (n-октилтриэтоксисилан) и силиконовой смолой. Было изучено их влияние на процессы гидратации обычного портландцемента CEM I 52.5 R LA и шлакопортландцемента (ШПЦ) CEM III/A 42.5 N LA с содержанием шлака — 45,7%.

Подготовка и параметры образцов

Первым этапом стало приготовление цементного теста и растворной смеси. Содержание добавки

added was 2% w/w of the cement, while for mortars two formulations were prepared, with either 0.5% w/w or 2% w/w. The IE silane emulsion was added to the water (the listed amount of “water” includes the contribution of the emulsion), stirred for 2 minutes with a magnetic stirrer and added to the dry mix (cement + sand). The proportions used to prepare cement pastes and mortars are provided in **Table 1**. For mortars, normalized sand was used (DIN Normsand EN 196-1).

Mechanical strength and water uptake characteristics were measured on the cured mortars. Mortars with and without silane emulsion were prepared according to EN 480-1 standard. The mortars were moulded in 4 x 4 x 16 cm prisms.

The capillary water absorption in 4 x 4 x 16 cm mortars blocks were measured according to the standard EN 480-5. Mortar prisms were cured for 90 days and immersed vertically in tap water at 20 °C for increased period of time. Mortar blocks were weighed before and after 1, 7 and 28 days contact time with water after a cure of 90 days in a 65% relative humidity atmosphere.

SEM and **XRD** measurements were carried out on cement pastes to have insight on the crystalline phase development. The samples for SEM analysis were coated with a thin carbon layer to provide electrical conductivity.

силановой эмульсии IE в цементном тесте составило 2% от массы цемента, а для растворной смеси исследовались два состава с содержанием добавки 0,5% или 2% по массе. Неионизированная силановая эмульсия вводилась в воду затворения, перемешивалась в магнитной мешалке в течение двух минут, после чего вводилась в сухую смесь (цемент + песок). Состав образцов цементного теста и растворных смесей приведен в **Табл. 1**. Для приготовления растворных смесей использовался нормализованный песок (стандарт Немецкого института стандартизации DIN Normsand EN 196-1).

Исследовались следующие показатели – механическая прочность и водопоглощение. Образцы-балочки 4 x 4 x 16 см изготавливались по EN 480-1 из растворных смесей с добавкой силановой эмульсии и без нее.

По этому же стандарту проводили исследование водопоглощения образцов 4 x 4 x 16 см, которые выдерживали в течение 90 суток, после чего на продолжительное время погружали в вертикальном положении в водопроводную воду с температурой 20 °C. Взвешивание образцов проводили до и после 1, 7 и 28 дней выдерживания в воде, после их твердения в течение 90 суток в атмосферных условиях с относительной влажностью 65%.

Table 1. Cement paste and mortar samples abbreviation and composition (w/c: water to cement ratio; c/s: cement to sand ratio. CEM stands for CEM I 52.5 R LA. CEM III stands for CEM III/A 42.5 N LA)

Таблица 1. Обозначения и состав образцов цементного теста и растворных смесей (В:Ц — водоцементное соотношение; Ц:П — соотношение цемента и песка. CEM означает портландцемент CEM I 52/5 R LA, а CEM III означает цемент CEM III/A 42.5 N LA)

Samples // Образцы	Composition // Состав	w/c ratio // Соотношение В:Ц	c/s ratio // Соотношение Ц:П	Emulsion IE 6692 (% w/c of cement) // Эмульсия IE 6692 (% от массы цемента)
CEM 1	CEM I	0.5	Na	
CEM 1 IE	CEM I + IE	0.5	Na	2
CEM 3	CEM III	0.5	Na	
CEM 3 IE	CEM III + IE	0.5	Na	2
MOR 1	CEM I + sand // CEM I + песок	0.5	1/3	
MOR 1 IE 0.5 // MOR 1 IE 0,5	CEM I + sand + IE // CEM I + песок + IE	0.5	1/3	0.5
MOR 1 IE 2	CEM I + sand + IE // CEM I + песок + IE	0.5	1/3	2
MOR 3	CEM III + sand // CEM III + песок	0.5	1/3	
MOR 3 IE 0.5 // MOR 3 IE 0,5	CEM III + sand + IE // CEM III + песок + IE	0.5	1/3	0.5
MOR 3 IE 2	CEM III + sand + IE // CEM III + песок + IE	0.5	1/3	2

Open porosity and pore size distribution of the cement paste were determined by mercury intrusion porosimetry (MIP), performed using a Micromeritic Autopore IV apparatus.

The heat release during the bulk hydrophobic treatment of cement paste was followed by isothermal calorimetry using a Tam Air Microcalorimeter. All samples were prepared by mixing 5 g of cement with de-ionized water (or water + IE) in a flask which, after mixing, is immediately placed in the isothermal calorimeter in a climatic chamber with a fixed temperature of 20 °C. The thermal evolution was followed for 3 days.

Results and discussion

Water uptake reduction as a function of silane content

Absorption of water by the 90 days cured mortar prisms is measured according to EN 480-5 by weighing the dry and then wet prisms masses at different contact time with water (1, 7 and 28 days). **Figure 2** gives the coefficient of capillary water absorption (in g/mm^2) of the different mortars at the different contact time with water.

It is noticed that sample MOR-3 absorbs more water than MOR-1 at all times. Addition of IE in mortar formulation leads to significant reduction of water ingress. This reduction of water uptake is larger for

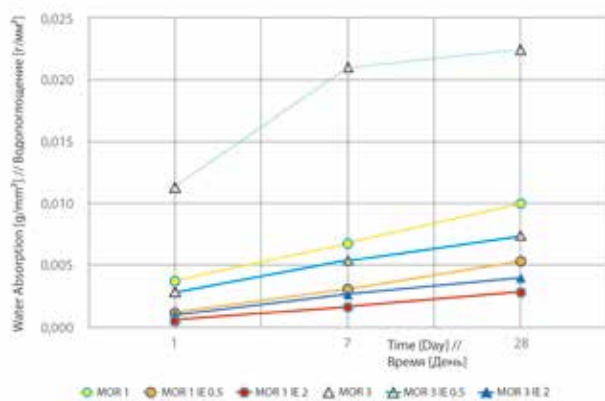


Fig. 2. Coefficient of capillary water absorption of mortars samples (average of three measurements) as a function of contact time with water. Yellow-orange-red series gives results for CEM-1 based mortar while light blue-blue-navy blue series gives results for CEM-3 cement

Рис. 2. Коэффициент капиллярного водопоглощения образцов растворов (средний из трех измерений) в зависимости от времени насыщения водой. Результаты образцов CEM-1 на графике представлены желтой, оранжевой и красной прямыми, а результаты по CEM-3 — голубой, синей и темно-синей прямыми.

MOR-3 (at equal IE content). At 28 days, water uptake is about 6 times lower for MOR-3-IE-2 than for MOR-3, and 4 times lower for MOR-1-IE-2, as compared to MOR-1.

Для изучения фазового состава применялись методы растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеноструктурного анализа (РСА) цементного камня. Перед проведением РЭМ на поверхность образцов наносили тонкий электропроводный слой углерода.

Методом ртутной порометрии, с использованием аппарата Autopore IV компании Micromeritic, определили открытую пористость и распределение пор по размерам цементного камня.

Определение тепловыделения при твердении цементной суспензии проводили методом изометрической калориметрии с использованием микрокалориметра компании TAM Air. Все образцы были изготовлены путем смешивания 5 г цемента с деионизированной водой (или водой + IE) в колбе, которая, непосредственно после перемешивания, была установлена в изометрический калориметр термокамеры с постоянной температурой при 20 °C. Наблюдение за изменением температуры проводилось в течение трех суток.

Результаты эксперимента

Снижение водопоглощения в зависимости от содержания силана.

Определение водопоглощения образцов в возрасте 90 суток проводилось по EN 480-5 путем периодического измерения массы сухих и влажных образцов в процессе их насыщения водой (в возрасте 1, 7 и 28 суток). На **рис. 2** представлены данные по коэффициенту капиллярного водопоглощения (в $\text{г}/\text{мм}^2$) различных растворов в зависимости от времени насыщения водой.

При этом было отмечено, что водопоглощение образцов MOR-3 на протяжении всего времени проведения испытания было выше, чем у MOR-1. Введение IE в состав растворной смеси привело к существенному снижению этого показателя. Наименьшее значение оказалось у образцов MOR-3 (при одинаковом содержании IE). Через 28 суток водопоглощение образцов MOR-3-IE-2 было приблизительно на шесть раз ниже, по сравнению с образцами MOR-3, а аналогичный показатель MOR-1-IE-2 — в четыре раза ниже, чем у MOR-1.

Физико-механические параметры

На **рис. 3** представлены результаты определения предела прочности при сжатии образцов, приготовленных из двух указанных видов цемента с добавкой неионизированной силановой эмульсии или без нее, и с разным временем схватывания.

Вид используемого цемента влияет на механические показатели раствора. Так, прочность образцов MOR-3 на начальном этапе твердения в возрасте двух

Physico-mechanical characterization

Figure 3 gives the compression strengths of mortars prepared with the two reference cements, with our without IE silane emulsion and at different setting times.

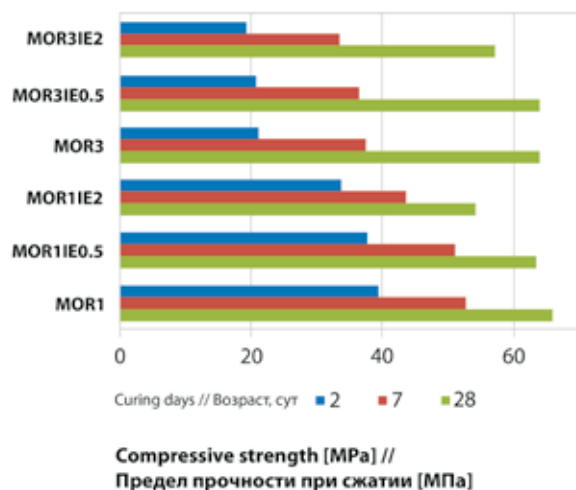


Fig. 3. Compressive strengths values (average of three measurements) for the mortar samples

Рис. 3. Предел прочности при сжатии образцов раствора (по трем измерениям)

Type of cement has an impact on the reference mortar mechanical properties as MOR-3 has a lower mechanical strength at short term (2 days of curing) to that of MOR-1. This difference decreases at longer curing time (28 days). This can be explained by the slower hydration rate of blast furnace slag in CEM-3 cement as its activation requires the formation of portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), product of the clinker hydration.

Some decrease of the compression strength of mortar is observed at the highest integral water repellent addition level. The drop of compression strength is however limited and lower when CEM-3 cement is used.

суток была ниже, чем у MOR-1. При более длительном твердении (28 суток) прочностные показатели растворов на основе различных типов цемента выравнивались. Это можно объяснить более медленной скоростью гидратации цемента СЕМ-3 с доменным шлаком, так как для его активации требуется формирование портландита ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), продукта гидратации клинкера.

При введении большего количества гидрофобной добавки наблюдалось определенное снижение предела прочности при сжатии раствора. Тем не менее падение предела прочности при сжатии ограничено, и в случае использования цемента СЕМ-3 этот показатель изменяется меньше.

В табл. 2 представлены средние значения пористости (%) по результатам трех измерений образцов цементного камня в возрасте одних и семи суток. Никакого существенного влияния ИЕ на пористость отмечено не было. Распределение пор по размерам не изменялось.

РЭМ- и РСА-анализ методом Ритвельда

Электронные снимки микроструктуры цементного камня, полученные методом РЭМ-анализа в возрасте одних суток, представлены на рис. 4. Различные кристаллические структуры были определены как продукты гидратации в СЕМ 1 и СЕМ-1-ИЕ. При сравнении цементного камня с и без добавки ИЕ наблюдались различия в ориентации и сгруппированности кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ портландита в виде шестиугольных пластин. При введении добавки силана (СЕМ-1-ИЕ) в цементном камне формируется портландит в виде более крупных кристаллов. Также был отмечен этрингит и частицы непрогидратированного цемента.

В табл. 3 приведен фазовый состав цементного камня в возрасте одних суток, который был рассчитан методом Ритвельда по данным рентгеновской дифракции. Наблюдались лишь незначительные различия в составе некоторых фаз. При введении

Table 2. Mercury intrusion porosimetry results for cement paste samples

Таблица 2. Пористость образцов цементного камня, определенная методом ртутной порометрии

	Total porosity (%) // Общая пористость (%)	
	After 1 day // Через 1 сутки	After 7 days // Через 7 суток
CEM-1	30	29
CEM-1-IE	31	30
CEM-3	36	34
CEM-3-IE	37	36

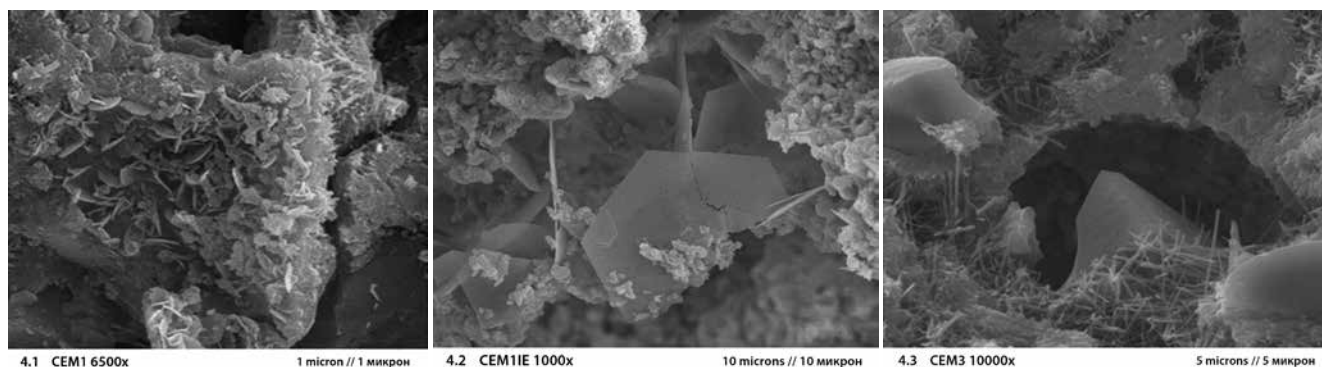


Fig. 4. SEM images of cement paste after one day of curing: larger crystals of portlandite were found in CEM-1-IE (Fig. 4.2) as compared to the reference (Fig. 4.1). Ettringite formation on CEM-3 cement with BFS particle was also observed (Fig. 4.3)

Рис. 4. РЭМ-снимки цементного камня в возрасте одних суток: более крупные кристаллы портландита были обнаружены в CEM-1-IE (Рис. 4.2), по сравнению с эталонным (Рис. 4.1). В образцах шлакопортландцемента CEM-3 наблюдалось формирование этtringита (Рис. 4.3)

Table 2 presents the average total porosity percentage (%) from 3 measurements for each cement paste samples, after 1 and 7 days of curing. No significant influence of IE on the porosity of the cement paste was noticed. The pore size distribution does not change.

SEM and XRD Rietveld analysis

The images of cement paste microstructure obtained by scanning electron microscopy (SEM) after one day curing are presented in **Fig. 4**. Different crystalline formations were identified as hydration products in both CEM 1 and CEM-1-IE. Hexagonal platelets of CH ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ – portlandite) appear with different orientations and groupings when comparing a paste with or without IE. The size of these crystals is larger when silane was incorporated (CEM-1-IE). Ettringite was also identified as needles surrounding unhydrated cement particle.

Table 3 lists the main phases present in the cement paste after curing for 1 day. The proportions were obtained by applying a Rietveld analysis to the

неионизированной силановой эмульсии содержание трехкальциевого силиката (C_3S) в возрасте одних суток незначительно повысилось. Данный эффект мог возникнуть из-за замедления процесса гидратации C_3S на начальном этапе твердения. Содержание портландита выше в CEM-1 и CEM-3 по сравнению с CEM-1-IE и CEM-3-IE. Это означает, что в реакции с водой вступило большее количество C_3S . При введении неионизированной силановой эмульсии наблюдается замедление гидратации C_3S . По сравнению с C_3S присутствие неионизированной силановой эмульсии не оказало какого-либо значительного влияния на реакцию гидратации фазы трехкальциевого алюмината (C_3A). Таким образом, влияние введения этой эмульсии на формирование этtringита остается неясным.

Дифференциальная сканирующая и изометрическая калориметрия и термогравиметрический анализ образцов цементного камня

В возрасте одних суток был проведен термический анализ образцов CEM-3 и CEM-3-IE. Кроме

Table 3. Phase composition (by weight %) of cement pastes calculated with Rietveld analysis of the XRD diffractograms

Таблица 3. Фазный состав (по массе в %) цементного камня, рассчитанный методом Ритвельда для рентгеноструктурного анализа дифрактограмм

	CEM-1	CEM-1-IE	CEM-3	CEM-3-IE
C_3S	21.75	23.76	24.79	29.93
C_2S beta	15.66	15.84	5.36	5.11
Portlandite // Портландит	18.27	16.72	12.06	9.49
C_3A	4.35	4.4	3.35	4.38
C_4AF	13.92	14.96	13.4	13.14
Ettringite // Этtringит	13.05	12.32	8.04	10.95
Amorphous phase // Аморфная фаза	13	12	33	27

X-ray diffraction data. Only small differences between the content of the difference phases are observed. The content of tricalcium silicate (C_3S) after 1 day cure appears to be slightly higher in the presence of the IE silane emulsion. This could come from some delay of the C_3S hydration at early cure time. The amount of portlandite is higher in both CEM-1 and CEM-3 as compared with CEM-1-IE and CEM-3-IE indicating that more C_3S has reacted with water. Reduced hydration rate of C_3S is observed upon addition of IE silane emulsion. In comparison to C_3S , the hydration reaction of the tricalcium aluminate (C_3A) phase is not significantly affected by the presence of the IE silane emulsion. The influence of IE emulsion addition on ettringite formation is unclear.

DSC-TG analysis and isothermal calorimetry on cement pastes

Thermal analysis was carried out on CEM-3 and CEM-3-IE, after one day of curing (not shown). Besides a peak at 300 °C which corresponds presumably to the decomposition of the alkyl chain attached to the silane, no significant difference is seen between the two curves. Absorbed and interstitial water evaporation, decomposition of $Ca(OH)_2$ present in cement paste, decomposition of $CaCO_3$ (around 700 °C) and crystallization of the amorphous phase of BFS can be identified on the curves.

The isothermal calorimetry studies provide information on the exothermal reactions during cement

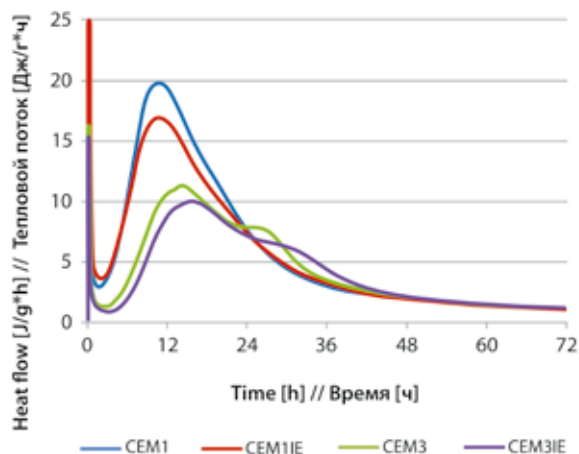


Fig. 5. Heat evolution rate of cement paste in presence of silane emulsion

Рис. 5. Изменение теплоты гидратации цементного теста при введении добавки силиановой эмульсии

hydration. The calorimetric curves (see Fig. 5) show that the dormant period is shorter in CEM-1 compositions than in CEM-3 ones. The delayed hydration in CEM-3 is due to the required slag activation by the alkaline (portlandite) generated by the hydration of the C_3S

наличия пика при 300 °C, которое предположительно соответствует условиям разложения алкильной цепи, прикрепленной к силану, между двумя графиками не наблюдается никаких значительных отличий. На графиках приведены кривые испарения поглощенной и внутрипоровой воды, разложения присутствующего в цементном камне $Ca(OH)_2$ и $CaCO_3$ (температура около 700 °C) и кристаллизации аморфной фазы ШПЦ.

Методом изометрической калориметрии были получены данные по экзотермическим реакциям, при гидратации цемента. Калориметрические кривые (см. рис. 5) показали, что в составе CEM-1 индукционный период более короткий, чем в составе CEM-3. Замедление гидратации CEM-3 является следствием активации шлака гидроксидом кальция (портландит), возникающей в результате гидратации фазы C_3S . Второй пик в гидратации CEM-3 связан с реакцией шлака.

Введение неионизированной силиановой эмульсии в цементное тесто CEM-1 и CEM-3 снижает тепловыделение в процессе гидратации (приблизительно на 10%). В случае с CEM-3 эмульсия увеличивает время гидратации портландцемента и активации ШПЦ.

Начало и конец схватывания определяли с использованием прибора Вика по EN 196-3. В результате, было установлено, что, по сравнению с бездобавочным цементным тестом, при введении неионизированной силиановой эмульсии в CEM-1 или CEM-3 начало схватывания происходит позже на 30 мин, а конец схватывания — на 50 мин.

Заключение

Статья посвящена исследованию влияния силиановой эмульсии на основе неионизированной воды на процесс гидратации обычного портландцемента и шлакопортландцемента в случае ее применения в качестве гидрофобной добавки для смеси.

Общий вывод заключается в том, что основные процессы гидратации цемента происходят в присутствии неионизированной силиановой эмульсии с той же скоростью, что и в контрольной растворной смеси или цементном тесте. Введение неионизированной силиановой эмульсии в растворную смесь приводит к значительному сокращению капиллярного водопоглощения, что является подтверждением реакции силанов с гидросиликатами кальция.

Тем не менее некоторое влияние на скорость гидратации цемента все же наблюдается, что в конечном итоге снижает механическую прочность приблизительно на 7%. Данное действие менее выражено для шлакопортландцемента.

Снижение механической прочности не может быть связано с изменением пористости.

Калориметрические измерения показали, что гидратация алита в присутствии неионизированной

phase. The second peak in CEM-3 hydration is related to the slag reaction.

Addition of IE silane emulsion in both CEM-1 and CEM-3 pastes decreases the hydration heat production (about 10% lower in both cements). In case of CEM-3, it has a retarding effect on both Portland cement hydration and BFS activation.

Initial setting time (IST) and final setting time (FST) measured according to Vicat needle test EN 196-3 shows that addition of IE silane emulsion in CEM-1 or CEM-3 retards IST by 30 minutes and FST by 50 minutes (data not shown) as compared to cement paste free of IE silane emulsion.

Conclusions

The study focused on the effect of a non-ionic water based silane emulsion when used as an integral water repellent, on the hydration processes in ordinary Portland cement and blast furnace slag cement.

Overall, it can be said that the main cement hydration processes are taking place in the presence of the IE silane emulsion, as compared to the reference mortar or cement paste. Addition of IE silane emulsion in mortars leads to a strong reduction of capillary water absorption, indicating reaction of the silanes with CSH.

Some impact on rate of cement hydration is however seen, which leads to some drop of about 7% in mechanical strength. This effect is less significant for BFS cement.

The mechanical strength decrease could not be correlated to a porosity modification.

The calorimetric measurements show that the hydration of C_3S appears to be retarded in the presence of IE silane emulsion and heat production in CEM-1 and CEM-3 is lowered by around 10% when IE silane emulsion is present.

It can be hypothesized that upon mixing in the cement past or mortar, the droplets in the IE silane emulsion release the active material (the silane and a silicone resin). In this high pH liquid phase, the hydrolysis of the silane must take place rapidly, producing $R_3-Si-O-H$ labile species which can self-polymerize or chemically bound to the initial cement phase or CSH-gel. If such reaction takes place at the surface of C_3S particles, this must slow down access of water molecules to the cement particles. This could explain the delay in heat evolution and the subsequent limited drop of mechanical properties.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the Belgian Walloon region for supporting the NISHYCEM project.

силановой эмульсии замедляется, а тепловыделение в составах CEM-1 и CEM-3 снижается приблизительно на 10%.

Можно предположить, что при введении в цементное тесто или растворную смесь небольшого количества неионизированной силановой эмульсии выделяется действующее вещество (силан или силиконовая смола). В жидкой фазе с характерными высокими показателями pH гидролиз силана должен происходить очень быстро с образованием подвижных соединений $R_3-Si-O-H$, которые могут самопроизвольно полимеризоваться либо образовывать химическую связь с исходной фазой цемента или гелем гидросиликата кальция. Если эта реакция протекает на поверхности зерен C_3S , она замедляет поступление молекул воды к частицам цемента, что обуславливает снижение тепловыделения и последующее уменьшение механической прочности.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Валлонскому региону Бельгии за поддержку проекта NISHYCEM.

References // Литература

1. *Short and long term performance of silane treated concrete*, Cabrera, J., Hassan, K., in *Hydrophobe II Surface treatment of building materials with water repellent agent*, F.H. Wittmann, T.A.J.M. Siemes, and L.G.W. Verhoef, Editors. 1998: Zürich, Switzerland, p. 1–10.
2. *Hydrophobic treatment of concrete*, de Vries, I., Polder, R., *Construction and Building Materials*, 1997. 11 (4): p. 259–265.
3. *Use of Hydrophobic Agents as Concrete Admixtures*, Moriconi, G., Tittarelli, F., in *Sixth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete 2003*, Farmington Hills, Michigan, USA, ACI Publication: Thessaloniki, Greece, p. 279–288.
4. *A method for improving the early strength of pumice concrete blocks by using alkyl alkoxy silane (AAS)*, Felekoğlu, B., *Construction and Building Materials*, 2012. 28 (1): p. 305–310.
5. *New Silicone resin-based hydrophobic powder for the dry mix market*, Lecomte, J.-P., Llado, D., Salvati, S., Rodrigues, G., Ribeiro, M., *European Coating Journal*, 12/2013, p. 88–91.
6. *Impact of Silane and Siloxane based Hydrophobic Powder on Cement-based Mortar*; Spaeth, V., Lecomte, J.-P., Delplancke, M.-P., Orłowski, J., Büttner, T., *Advanced Materials Research*, Vol. 687 (2013), p. 100–106.

ПРЕСС-РЕЛИЗ ПО ИТОГАМ ВЫСТАВКИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, 28 АПРЕЛЯ 2017

WorldBuild St. Petersburg
InterStroyExpo
Международная выставка строительных
и отделочных материалов

С 19 по 21 апреля 2017 года в Санкт-Петербурге, в КВЦ «ЭКСПОФОРУМ» состоялась 23-я Международная выставка строительных и отделочных материалов ИнтерСтройЭкспо / WorldBuild St. Petersburg.

В первый день выставки – 19 апреля – прошла торжественная церемония официального открытия выставки, в которой приняли участие:

Игорь Иванович Шикалов, заместитель председателя Комитета по строительству Санкт-Петербурга

Иван Александрович Серебрицкий, заместитель председателя Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга

Алексей Игоревич Белоусов, член Совета НОСТРОЙ, вице-президент, генеральный директор Объединения строителей Санкт-Петербурга и Объединения проектировщиков

Лев Моисеевич Каплан, вице-президент, директор Санкт-Петербургского союза строительных компаний «СОЮЗПЕТРОСТРОЙ»

Александр Михайлович Гримитлин, координатор Национального объединения проектировщиков и изыскателей по СЗФО, президент АВОК Северо-Запад

Ирина Игоревна Белинская, генеральный директор «Петербургского строительного центра»

Сергей Георгиевич Воронков, генеральный директор компании «ЭкспоФорум-Интернешл»

Ирина Анатольевна Любина, директор компании «ПРИМЭКСПО» / ITE Санкт-Петербург

Почетные гости церемонии открытия отметили высокий уровень организации выставки и выразили

уверенность, что ее проведение станет импульсом для дальнейшего развития строительной отрасли региона.

Выставка начала работу с торжественной церемонии награждения победителей международного конкурса «Инновации в строительстве», который проводится по инициативе Комитета по строительству Санкт-Петербурга. В этом году победителями конкурса стали 11 компаний.

Дипломами III степени были награждены компании «НОЙЗПРУФ» (звукоизоляционный компаунд GREEN GLUE) и «Эм-Си Баухеми» (добавка «ПЛИТОНИТ Эстрих»).

Обладатели дипломов II степени стали компании «ТЭОХИМ НЕВА» (серия добавок в бетон ЭЛАСТОБЕТОН), «Акустик Ру» (акустический триплекс САУНДЛАЙН), «НИТИХА» (фиброцементные панели НИСНИА серии COOL), «Эм-Си Баухеми» (СуперКамин ТермоШтукатурка).

Компании, награжденные дипломами I степени – «Асфальтобетонный завод №1» (многощелебистый резиноасфальтобетон Gap Grade), «ОГНЕЗА» (противопожарный терморасширяющийся герметик «ОГНЕЗА-ГТ» для деформационных конструкционных швов), «Пенетрон» (пенетрон-бетон), «СМУ – ОКНА ВЕКА» (программный комплекс «Интеллектуальный Замерщик»), «Соппка» (огнебиозащитные составы и краски Soppka), «Гизол» (система огнезащиты воздухопроводов ET BENT EI 240).

В этом году в выставке приняли участие 176 компаний из России, Армении, Беларуси, Германии и Литвы. Выставку посетили 6 496 человек из 16 стран и 44 регионов России. В числе посетителей выставки – руководители и специалисты по снабжению строительных компаний, руководители и специалисты по закупкам торговых компаний, а также архитекторы, проектировщики, инженеры, представители девелоперских компаний.



Посетители смогли ознакомиться с широким спектром строительных и отделочных материалов, окон, фасадов, дверей, инструмента, свето- и электро-технической продукции, напольных покрытий, а также строительной и подъемной техники.

В числе новинок, которые представили участники выставки – силиконовый гидрофобизатор Elcon Aqwell, сверхмобильный бетонный завод Мобил-20, негорючие гидрофобизированные плиты УЛЬТРА-ЛАЙТ, технический керамогранит коллекции «Усиленный», системы безрамного остекления – Vision-Line и Vision-Slider, гидроизоляционный материал Dorflex M, решетчатый настил марки Reshnastil, матовая краска премиум-класса Caparol PremiumClean, и многая другая продукция.

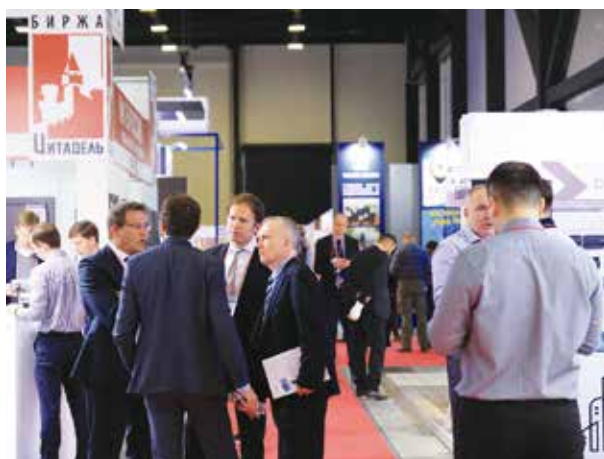
Деловая программа выставки открылась пленарным заседанием 17-го конгресса по строительству IBC – «Эффективнее и быстрее – ключевой поворот в системе получения согласований». В работе приняли участие вице-губернатор Санкт-Петербурга Александр Николаевич Говорунов, уполномоченный по защите прав предпринимателей в Санкт-Петербурге Александр Васильевич Абросимов, заместитель руководителя Администрации Губернатора Санкт-Петербурга – начальник Проектного управления – проектного офиса Юлия Вячеславовна Лудинова, руководители профильных комитетов и строительных компаний.

Вице-губернатор отметил, что в Петербурге темпы строительства жилья одни из самых высоких в стране. Более 3 млн кв. метров жилья было введено в эксплуатацию в прошлом году – это почти на 8% больше, чем планировалось.

Также в первый день выставки состоялся 10-й Международный форум по градостроительству и архитектуре A.city. Ключевая тема форума: «Архитектурные конкурсы – важный этап процесса принятия решений в сфере планирования города и повышения качества архитектуры». Участники форума обсудили итоги проведенных Комитетом по архитектуре и градостроительству Санкт-Петербурга в 2016 году конкурсов «Серый пояс. Преобразование» и «Петербургский стиль XXI века» и перспективы развития конкурсной практики в Санкт-Петербурге.

Одновременно с ИнтерСтройЭкспо / WorldBuild St. Petersburg состоялась 4-я Международная выставка оборудования для отопления, водоснабжения, вентиляции, кондиционирования и бассейнов Aquatherm St. Petersburg.

**24-я Международная выставка
строительных и отделочных материалов
WorldBuild St. Petersburg /
ИнтерСтройЭкспо
состоится 17-19 апреля 2018 года
в Санкт-Петербурге, КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»**





Subscribe for
Подписывайтесь
на журнал в

2017 году!

Стоимость подписки: 6000 руб., вкл. НДС,
периодичность: 6 номеров в год.

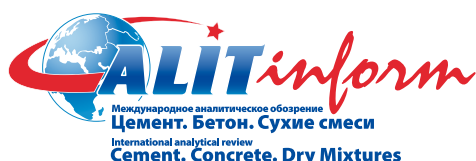
Распространяется по подписке в России,
странах СНГ и за рубежом,
адресной рассылке, на выставках
и конференциях.

Вы можете отправить заявку по факсу:
+7 (812) 380-65-72
или на e-mail: sub@alitinform.ru

Full annual subscription
for 6 issues: €175

Distributed among subscribers
throughout Russia, CIS and foreign
countries, participants of International
Exhibitions and conferences.

Order your subscription by phone:
+7 (812) 380-65-72
or e-mail: sub@alitinform.ru



www.alitinform.ru

Каталог ОАО Агентства «Роспечать» — 33174,
электронный каталог ООО «АП «Деловая пресса» — 10707dp,
www.delpress.ru/items/10707dp.html

Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере массовых коммуникаций связи
и охраны культурного наследия.

Свидетельство ПН № ФС77-31038 от 24 января 2008 г.



WorldBuild Krasnodar

YugBuild

Международная выставка

строительных и отделочных
материалов, инженерного
оборудования и архитектурных
проектов

worldbuild-krasnodar.ru



27 февраля -
2 марта 2018

Краснодар
ул. Конгрессная, 1
ВКК «Экспоград Юг»

12+



Организатор
выставки



Одновременно
с выставкой



securika
Krasnodar

Выставка технических средств
охраны и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты

Официальный
информационный спонсор



КОМПОЗИТ XXI век



Arab Union for Cement and Building Materials

22nd Arab International Cement Conference & Exhibition (AICCE22)

14 - 16th November 2017

**المؤتمر والمعرض العربي الدولي الثاني والعشرون
لصناعة الإسمنت**

14 - 16 نوفمبر / تشرين الثاني 2017

**International Congress Center
Maritim Jolie Ville
Sharm el Sheikh
Egypt**

**ماريتيم جولي فيل
شرم الشيخ
جمهورية مصر العربية**

**AUCBM
General Secretariat
aicce22@aucbm.org
www.aucbm.org**