



1 Общий вид цементного завода Reuchenette после завершения проекта 880 R03



2 Башня теплообменника и здание бывшего фильтровального участка

Штеффен Блюмель¹, Петер Люхингер², Петер Шкарупа³

¹Bau Ing AG, Доттинген / Швейцария

²Vigier Cement AG, Пери / Швейцария

³ZMOP spot, s to.,Модта / Словакия

Модернизация печной линии при минимальном времени остановки производства

Резюме: Печная линия на цементном заводе Reuchenette компании VIGIER CEMENT AG была модернизирована в рамках проекта 880 R03. Работы включали реновацию четырех ступеней циклона, вентиляционных стоячков и головки печи, а также установку нового канала кальцинации с обжиговой камерой и воздухопроводом третичного воздуха. Проект был запущен в сентябре 2008 и завершен в августе 2009 г. при полной остановке производства всего на семь недель.

1 Введение

Следуя общей тенденции в цементной промышленности Швейцарии, компания Vigier Cement AG, расположенная в Пери, кантон Берн (рис. 1), в июне 2007 г. приняла решение модернизировать свою печную линию. Целью проекта 880 R03 было, в первую очередь, повышение производительности завода, работающего уже 45 лет (с 1800 т до 2400 т клинкера в день с применением новых видов альтернативного топлива, а также повышением уровня замещения используемых видов топлива альтернативными). Для достижения этой цели необходимо было увеличить все четыре ступени циклона и соответствующие вентиляционные стоячки, интегрировать в

систему установку предварительной кальцинации с дополнительной обжиговой камерой и воздухопроводом третичного воздуха и заменить головку печи.

Особое внимание в таких проектах следует уделять техническому и административному планированию монтажных работ помимо решений, касающихся технологического процесса, вопросов размещения оборудования, статического анализа и модификации существующих несущих конструкций. Требование заказчика об остановке производства на срок не более семи недель повлекло за собой, например, необходимость выполнения максимально возможного количества работ до начала периода останов-

ки, а также точного ежедневного планирования деятельности всей команды в течение интенсивного периода реконструкции. Кроме того, необходимо было одновременно учитывать и пограничные условия, налагаемые существующими несущими конструкциями, либо модифицировать их путем установки дополнительных элементов таким образом, чтобы соблюсти баланс между практической необходимостью и ограничениями времени отключения печи. При этом следовало оптимизировать уровень предварительной сборки компонентов устанавливаемого оборудования. Описание основных работ по реализации данного проекта и опыта, полученного в ходе их выполнения, приводится ниже.

2 Существующая структура зданий и заводского оборудования

Центральным элементом сооруженной в 1964 г. печной линии является вращающаяся печь длиной 68 м, с расчетным диаметром 4,4 м, с тремя банджами. У загрузочного отверстия печи смонтирована стальная конструкция четырехступенчатого теплообменника высотой 71 м (рис. 2). Циклоны имеют диаметр 3,9 м, 5,6 м и (в двух случаях) 6,65 м. Высота цилиндров циклонов варьируется между 4,6 м (двойной циклон 1) и 3 м. В башне теплообменника было сооружено семь платформ, состоящих из бетонных плит толщиной 20 см. Максимальная разрешенная нагрузка на эти плиты из-за очень низкой степени их армирования была ограничена до 5 кН для индивидуальной нагрузки и 5кН/м².

В фильтровальном отделении — расположенной сбоку от печи башне высотой 56 м — были установлены два электрофильтра. После работ по ре-

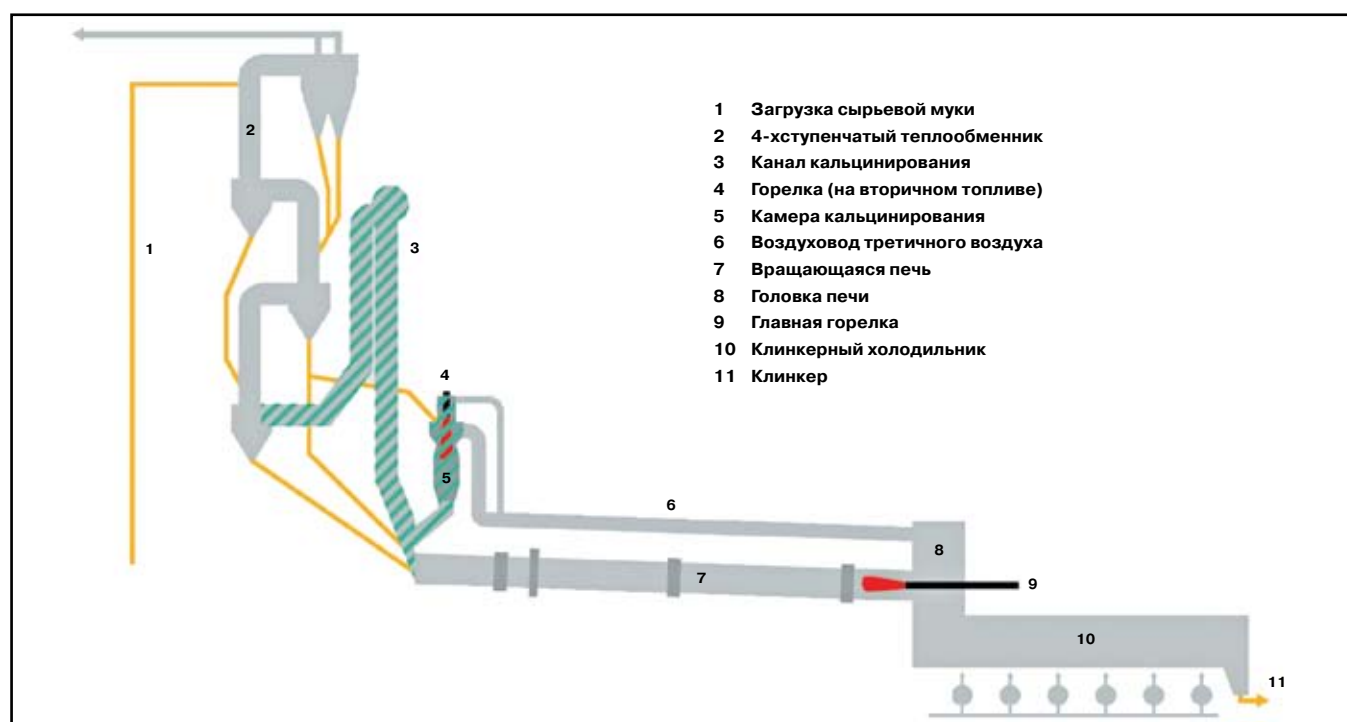
конструкции эти электрофильтры были демонтированы, а здание выведено из эксплуатации.

Головка печи была расположена на платформе из армированного железобетона. Несущими элементами, принимающими на себя прилагаемую нагрузку, включая и аксиальное перемещение головки печи, являлись две железобетонные балки с пролетом шесть метров. Эта конструкция одновременно определяла и граничные условия для расчета геометрии новой головки печи.

3 Новый производственно-технический способ

Максимальное количество вводимого в печь топлива ограничено объемом печи. При данных размерах печи увеличение подачи тепловой энергии, связанное с дальнейшим повышением производительности, возможно лишь за счет второй экзотермической реакции. С этой целью в башне теплообменника были сооружены дополнительная обжиговая камера и канал кальцинации приблизительно 85 м длиной для дополнительного удержания сырьевой муки в течение 5 - 6 секунд (рис. 3).

В камере кальцинации могут быть использованы как ископаемое топливо — уголь, так и альтернативные виды топлива. В условиях высокой температуры эти источники энергии сгорают без остатка и, с другой стороны, это позволяет снизить объем использования дорогостоящих видов первичного топлива. Горячий воздух, необходимый для процесса горения, направляется в отдельную камеру обжига из клинкерного холодильника по дополнительному воздуховоду третичного воздуха, проходящего параллельно печи.



3 Новый печной процесс



4 Предварительная сборка компонентов оборудования



5 Поворотный кран с подвижной стрелой, типа WK 160В и рабочий шатёр

Подсоединение нового воздуховода третичного воздуха и расчетное увеличение производства клинкера потребовали установки новой головки печи. Кроме того, возникла необходимость увеличения размеров циклонов, вентиляционных стояков и разгрузочных желобов, с учетом новых параметров процесса. Несмотря на сопутствующее увеличение площади теплового излучения, удалось снизить уровень энергопотребления с 3600 до 3400 кДж/кг клинкера. Это стало возможным, прежде всего, благодаря повышению эффективности теплопередачи между компонентами системы в результате снижения скорости потока.

4 Монтаж нового заводского оборудования

4.1 Определение этапов монтажа

Реализация проекта длилась с сентября 2008 по август 2009 гг. и была разбита на четыре этапа. Вся подготовительная работа была произведена в течение первых двух этапов, включая, в частности, подготовку и оборудование строительной площадки, монтаж нового оборудования, не связанного с существующей печной линией, предварительную сборку других элементов, а также армирование и реконструкцию несущих конструкций. Третий этап охватывал период останова печи. Одной из важнейших задач проекта было выдержать семинедельное ограничение этого этапа по срокам, сократив, таким образом, время останова производства и сведя к минимуму необходимость приобретения

клинкера у сторонних производителей. Все элементы проекта, не жизненно важные для работы завода, были завершены на последнем, четвертом этапе.

4.2 Этап 1: Подготовка и оборудование строительной площадки, монтаж канала кальцинации в фильтровальном отделении

Из большого количества задач, решаемых в процессе подготовки строительной площадки, две имели особое значение: выбор и установка правильного типа крана и решение использовать большой шатёр для предварительной сборки оборудования.

Шатёр был использован на этапах 1 и 2 для приемки и хранения в закрытых условиях компонентов оборудования, размеры которых были лимитированы транспортными ограничениями, а также для эффективного использования метода сварки защищенной дугой при производстве основных сварочных работ (рис. 4). Без этого укрытия было бы невозможно выдерживать жесткий график в это время года. Кроме того было необходимо на стадии планирования обеспечить доступ к телескопическому погрузчику, а также возможность выгрузки предварительно собранных компонентов при помощи крана на площадке. С этой целью были использованы строительные леса для создания U-образной стенной конструкции, удерживаемой снаружи тросами. Конструкция крыши состояла из двух решетчатых ферм, которые



6 Ступенчатые установочные платформы



7 Монтаж воздуховода третичного воздуха на этапе 2

могли быть легко демонтированы и сняты при помощи крана.

Исходя из опыта предыдущих проектов, для работ был выбран поворотный кран с подвижной стрелой (рис. 5). Этот тип крана позволяет переносить гораздо больший вес на коротких и средних выносах стрелы по сравнению с обычным поворотным башенным краном благодаря меньшей величине момента собственного веса стрелы при ее движении. В описываемом случае максимальный вес на радиусе 21 м был не менее 12 т. Это ограничение, однако, было точно равно весу верхней секции канала кальцинации с тем преимуществом, что этот элемент было возможно полностью сварить в палатке и установить на место с минимальными усилиями.

В проекте были использованы существующие несущие конструкции здания фильтровального отделения, которое к тому времени никак не использовалось в производстве, и в нем был установлен новый канал кальцинации. Это решение позволило провести полную сборку и монтаж огнеупорной футеровки этого компонента в течение этапов 1 и 2, за исключением элементов, примыкающих к башне теплообменника. Ввиду и так уже большого собственного веса и дополнительной нагрузки от электрофильтров — 960 т каждый, предусмотренной первоначальным проектом здания фильтровального отделения, реконструкция несущих конструкций свелась к локальному армированию некоторых решетчатых ферм, крыши и существующей системы раскосов. Соблюдение четкой хронологической последовательности операций со стальными конструкциями и каналом кальцинации в сочетании с постепенным подъемом всех сопут-

ствующих элементов через уже открытое отверстие в крыше обеспечило эффективное соблюдение графика монтажа.

4.3 Этап 2: подготовка к фазе полной остановки печи

Одним из основных вопросов во время планирования монтажных работ был вопрос перемещения компонентов оборудования в башню теплообменника и обратно во время основного этапа реконструкции — этапа 3. Идея временной разборки конструкций крыши, включая разборку верхних платформ для обеспечения вертикального доступа к компонентам оборудования была быстро отвергнута по причине слишком больших трудозатрат и времени для ее осуществления. Таким образом, остался один альтернативный вариант горизонтального перемещения материалов внутрь и наружу — по оси А башни теплообменника. Эта концепция, однако, требовала сооружения дополнительных конструкций для временной «парковки» элементов перед входом в башню теплообменника на соответствующем уровне. Для этой цели были разработаны ступенчатые установочные платформы (рис. 6), рассчитанные на двойную точечную нагрузку в 5 тонн при условии одновременного приложения и дополнительно на распределенную нагрузку в 500 кг/м², для размещения материала с целью демонтажа и сборки, а также для выполнения работ вне зависимости от доступности крана.

Другим краеугольным камнем этапа 2 стал монтаж и футеровка огнеупорным кирпичом воздуховода третичного воздуха в промежутке между новой обжиговой камерой и старой головкой печи (рис. 7). Для этой цели стальные трубы сваривались в плети длиной 14 - 18 м и после герметизации легким уп-

лотнением поднимались по пять секций в крайнее верхнее положение. Футеровка огнеупорным кирпичом осуществлялась в этом крайнем положении. Необходимые материалы подавались в воздуховод с обоих концов.

Предварительная сборка компонентов башни теплообменника состояла, в основном, из позиционирования и сварки цилиндрических и конических элементов высотой приблизительно 4 м и длиной до 8 м. Такие размеры диктовались, прежде всего, треугольной формой входов в башню теплообменника по оси А, поскольку не представлялось возможным даже временно удалить диагонали. Разгрузочные желоба и верхний воздуховод (соединяющий воздуховод третичного воздуха и верх обжиговой камеры), за исключением переходных элементов и нижних конических секций циклонов 2 и 3, были дополнительно футерованы бетоном. И, наконец, аккуратный временный склад для хранения большинства новых компонентов, расположенный в 500 м от башни теплообменника, полностью обеспечивал необходимое место для хранения и маневрирования во время демонтажа и систематических поставок необходимых элементов во время проведения реконструкции.

В течение этапа 2 была выполнена не только установка рабочих платформ, но также была произведена основная часть работ по модернизации стальных конструкций. Упор здесь был сделан на перестройку стены по оси 1, прилегающей к фильтровальному отделению, которую было необходимо значительно перестроить с учётом внедрения канала кальцинации, строительства нового пола, а также реконструкции и усиления всей системы настилов. Статическими расчетами было выяснено и взято за основу при первоначальном проектировании равномерное распределение веса циклонов на четыре точки. Однако этот подход нереалистичен: если принимать во внимание различие в жесткости ферм и допуски при их изготовлении и установке, он может привести к серьезным повреждениям. Поэтому для данного проекта все фермы были рассчитаны на перенос первичной нагрузки в двух противоположных точках. Оптимальное решение с трехточечной опорой было невозможно из-за вторичного использования опорных элементов.

4.4 Этап 3: Демонтаж и сборка оборудования

Жесткие временные ограничения этапа 3 явились достаточной причиной для поиска методов достижения быстрого охлаждения печной линии. С этой целью большие двойные двери над камерой входного отверстия печи были открыты и холодный воздух стал подаваться с обоих направлений (вращающаяся печь и циклоны) при помощи вентилятора системы обеспыливания клинкерного холодильника и собственного вентилятора обжиговой печи. Работы по вырезке автогеном отверстий в крышах циклонов и вентиляционных стояках начались спустя лишь 24 часа. Благодаря такому подходу процесс охлаж-

дения был завершён в течение 48 часов, позволив работы по реконструкции вести последовательно в режиме 24/7, то есть 24 часа в сутки в течение 7 недель.

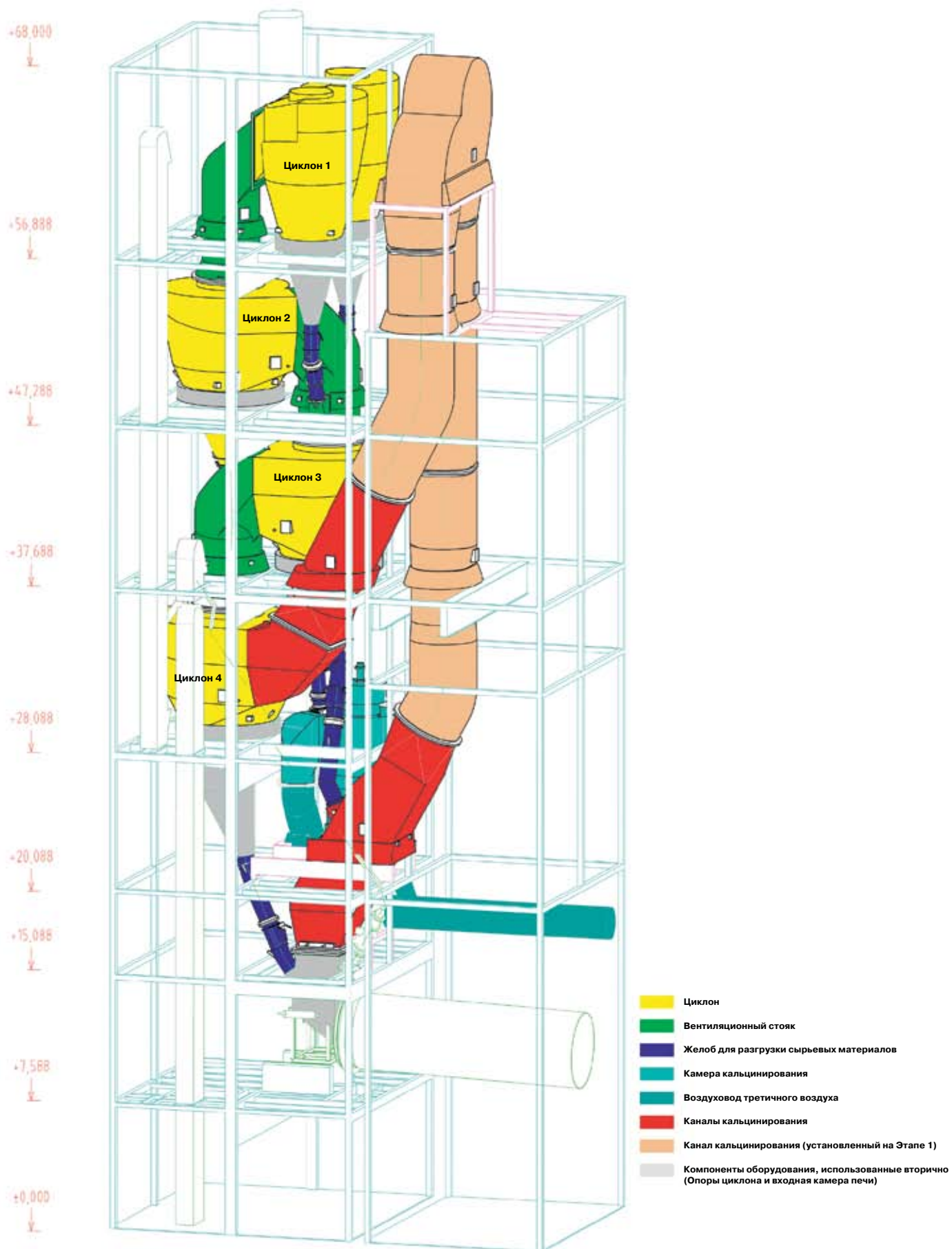
Для демонтажа и удаления компонентов оборудования была разработана следующая процедура: вначале были сняты разгрузочные желоба. Затем они были закреплены на выпускных конусах циклонов и использовались для транспортировки отбитого огнеупора в бункеры объемом 4 м³, которые затем вывозились вместе с материалом. После этого промышленные альпинисты удалили наслоения со стен циклонов, вентиляционных стояков и футеровки крыши. Последующий демонтаж компонентов, перемежающийся с отбивкой огнеупорной футеровки и разрезанием стальной оболочки на более мелкие фрагменты продолжался сверху вниз и был завершён в течение 9 дней (рис. 9).

Монтажные работы в башне теплообменника включали сооружение пяти ступеней циклонов (с циклоном ступени 1 в виде двойного циклона) на вторично используемых опорных конструкциях, реновацию выходных патрубков циклонов 2 и 3, установку трех вентиляционных стояков и разгрузочных желобов, монтаж камеры кальцинации, включая подключение воздуховода третичного воздуха, установку отсутствующих элементов канала кальцинации и завершение модернизации несущих конструкций (рис. 8 и 10). Особое внимание при планировании и проведении этих работ было уделено последовательному завершению каждого элемента, поскольку только быстрое начало и практически непрерывное проведение работ по футеровке позволило бы в срок провести укладку 240 т бетонной изоляции и 750 т бетонной огнеупорной футеровки.

Интеграция в систему нового воздуховода третичного воздуха также потребовала реконструкции головки печи. Эта монтажная задача была выполнена другим подрядчиком независимо от работ, которые проводились в башне теплообменника. Снятие старой головки печи заняло три дня, в то время как установка новой головки, состоящей из трех предварительных собранных сегментов, после ремонта огнеупорной футеровки вращающейся печи была завершена в течение пяти дней. Герметизация печной головки и соединение с воздуховодом третичного воздуха были выполнены одновременно с работами по установке огнеупорной футеровки.

4.5 Отклонение от проекта: керамические погружные трубы для циклонов 3 и 4

После рассмотрения всех преимуществ и недостатков компания VIGIER CEMENT AG решила установить на циклоны 3 и 4 керамические погружные трубы, изготовленные компанией HASLE (Дания). Оценка состояния этих элементов при преобладающих рабочих условиях и, следовательно, эффективность этой инвестиции, будет предметом будущих проверок. Что касается процесса установки, то все-



8 Схематический вид новых компонентов системы в башне теплообменника и в здании фильтровального участка (на основе графического изображения, предоставленного компанией PSP Engineering a.s.)



9 Демонтаж вентиляционного стояка GL32



10 Установка циклона С4

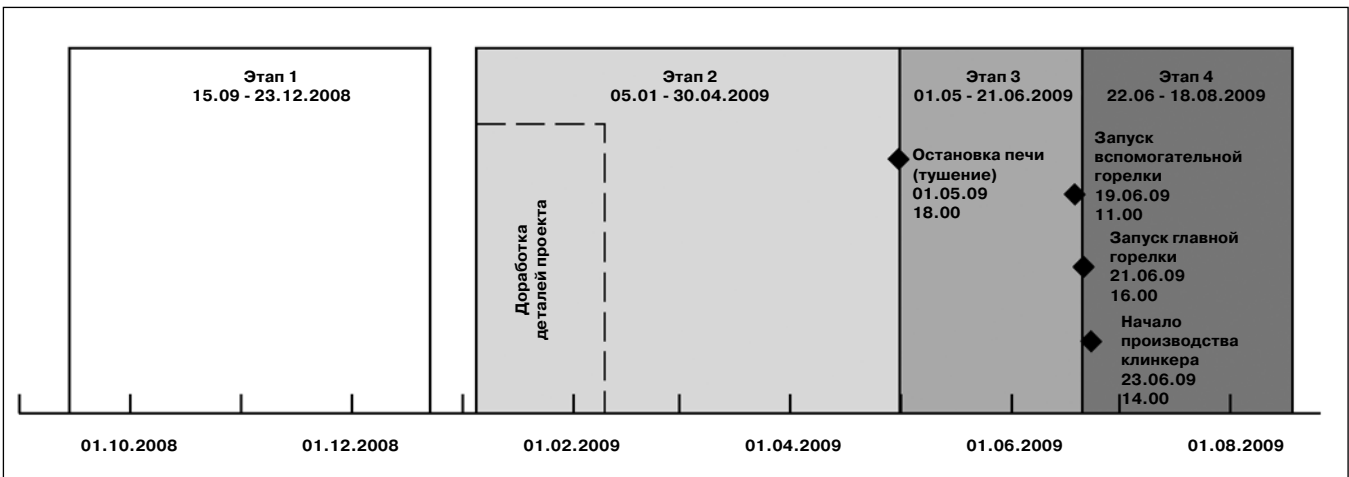
го за 16 часов четырьмя рабочими под руководством специалиста было уложено 1200 кирпичей.

4.6 Этап 4: Завершение работ

На этапе 4 были выполнены все работы по проекту, не имевшие непосредственного отношения к процессу производства, например, завершение монтажа платформ обслуживания, ремонт поверхности основных платформ и завершение работ по усилению несущих конструкций. Запуск новой горелки также был произведен по графику через две недели после включения печи. Эта процедура обеспечила выполнение требования соблюдения периода остановки производства продукции не более 60 дней. Однако выполнение данных работ вблизи горячих зон повлекло за собой значительную дополнительную нагрузку на персонал, выполнявший эти работы.

5 Заключение

Проект 880 RO3 продемонстрировал, что при условии детального планирования всех работ и этапов строительства, отнесения всех работ, не влияющих на процесс производства, на подготовительные и заключительные этапы, помощи высокопрофессиональных партнеров и гибкого взаимодействия с ними модернизация печной линии может быть произведена с чрезвычайно коротким периодом полной остановки производства (рис. 11). Качество проведенных работ отражается, помимо всего прочего, в производительности и параметрах процесса производства, достигнутых с момента запуска. Цифра в 1800 т клинкера в день (равная прежней производительности) была достигнута всего за 7 дней работы обновленной линии, а 90% от проектной цифры в 2400 т/день в течение 29 дней. При этом уровень энергопотребления был уже ниже гарантированного.



11 График выполнения работ по проекту

В заключение следует отметить, что параллельно с завершением проекта 880 RO3 была также закончена установка системы обеспыливания ковшового конвейера на маршруте клинкер-силос с привлечением около 120 дополнительных рабочих. Несмотря на возникающие в некоторых случаях сложные логистические проблемы, все задания были выполнены успешно и в срок благодаря упреждающему планированию и чрезвычайно высокому уровню взаимодействия менеджеров проекта.

6 Основные параметры проекта

6.1 Характеристика материалов

Содержание стали во вновь установленном оборудовании

Циклоны, вентиляционные стояки и жёлоба для разгрузки сырьевых материалов.....	150 т
Камера кальцинирования.....	21 т
Воздуховод третичного воздуха, включая несущие конструкции.....	99 т
Канал кальцинации.....	117 т
Головка печи.....	51 т
Сервисные платформы.....	34 т
Вес огнеупорной футеровки (на всех этапах)	
Огнеупорный кирпич.....	900 т
Уплотняющий бетон.....	340 т
Шамот.....	113 т
Керамические анкеры.....	78 т

Конструкционная сталь

Модернизация стальных конструкций теплообменника и фильтровального отделения.....	208 т
Напольная плитка в теплообменнике и фильтровальном отделении.....	62 т
Установочные платформы, включая напольную плитку.....	51 т

6.2 Основные участники проекта

Заказчик:

VIGIER CEMENT AG, CH-2603 Пери, Швейцария

Проектирование и изготовление оборудования:

PSP Engineering a.s., CZ-750 53 Преров, Чешская Республика

Расчет модификации стальных конструкций и армирования, менеджмент проекта:

Bau Ing AG, CH-5312 Дёттинген, Швейцария

Монтаж стальных конструкций и оборудования, этап 1:

BFE AG, CH-8488 Турбенталь, Швейцария

Монтаж стальных конструкций и оборудования, этапы 2 - 4:

ZMOP spol. s r.o., SK-900 02 Модра, Словакия

Монтаж головки печи:

TEUTRINE GmbH, D-59302 Ольде-Штротберг, Германия

Поставка и установка огнеупорной футеровки:

CALDERYS France SAS, F-92446 Исси ле Мулино, Цедекс, Франция