

УДК 691.51:622.782.6

В.И. ЗУЕВ, генеральный директор (izvesta@inbox.ru);  
А.Е. МИКАЛУЦКИЙ, начальник технологического отдела  
ООО ВПП «Известа» (394019, г. Воронеж, ул. 9 Января, 231)

## Совершенствование известе-обжиговых вращающихся печей

Главное достоинство вращающихся печей, благодаря которому они нашли широкое распространение, – это возможность получения высококачественной мягко обожженной извести из мелкого и разнообразного по свойствам сырья. При этом известь высокого качества можно получать практически на любой вращающейся печи. Основным недостатком вращающихся печей – низкая экономическая эффективность, обусловленная прежде всего высоким расходом топлива и большими затратами на сооружение и обслуживание. Основными элементами и системами вращающейся печи, которые определяют показатели ее работы на том или ином сырье, являются: конструкция охладителя извести; конструкции уплотнений горячего и холодного концов; конструкция горелочного устройства; конструкция футеровки печи; конструкция загрузочного узла печи; конструкции внутренних или запечных подогревателей сырья. Приводится краткое описание современных, применяемых на практике основных элементов и систем вращающихся печей, а также даны предложения и рекомендации по их внедрению и совершенствованию.

**Ключевые слова:** известь, мел, известняк, вращающиеся печи, охладители извести, газовая горелка, загрузочный узел печи, подогреватель сырья.

**Для цитирования:** Зуев В.И., Микалуцкий А.Е. Совершенствование известе-обжиговых вращающихся печей // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 62–68.

V.I. ZUEV, General Director (izvesta@inbox.ru); A.E. MIKALUTSKY, Head of Technological Department  
ООО ВПП "Izvesta" (231, 9 Yanvarya Street, 394019, Voronezh, Russian Federation)

### Improvement of Lime-Burning Rotary Kilns

The main advantage of rotary kilns due to which they found widespread – is the possibility to produce high-quality soft burnt lime from small raw materials with various properties. At this, the high quality lime can be obtained practically at any rotary kiln. The main disadvantage of rotary kilns is low economic efficiency, due primarily to high fuel consumption and high expenditures for construction and maintenance. Main elements and systems of the rotary kiln, which determine its performance with different raw materials, the design of the lime cooler; designs of seals of hot and cold ends; the design of the burner device; the design of the kiln lining; the design of the kiln feeding unit; designs of internal or separate pre-heaters of raw materials. A brief description of modern, practically applicable main elements and systems of rotary kilns is presented; proposals and recommendations on their introduction and improvement are also given.

**Keywords:** lime, chalk, rotary kilns, lime coolers, gas burner, feeding unit of kiln, raw materials pre-heater.

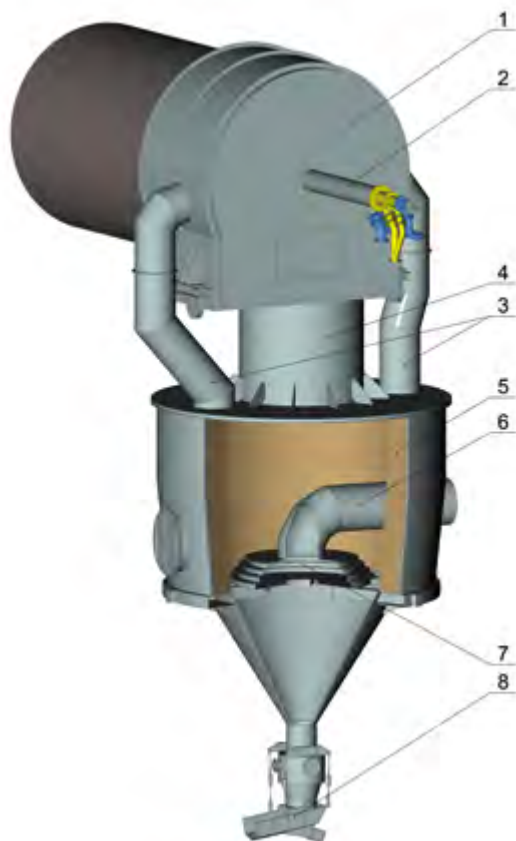
**For citation:** Zuev V.I., Mikalutsky A.E. Improvement of lime-burning rotary kilns. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 62–68. (In Russian).

Известь является одним из давно известных и достаточно распространенных строительных материалов. В качестве вяжущего она применяется при производстве силикатного кирпича, автоклавного газобетона, в сухих строительных смесях и др. [1, 2, 3]. Без извести невозможны процессы выплавки стали и сплавов, химическое и сахарное производство, сельское хозяйство, бумажная промышленность и др. [4]. Однако в промышленности строительных материалов, как, впрочем, и во многих других ее отраслях, производство извести продолжительное время оставалось в рядах аутсайдеров по оснащенности производства и объемам капиталовложений в реконструкцию и реновацию. Такая ситуация в условиях повышения требований к качеству выпускаемой продукции привела к необходимости оптимизации и реконструкции производств. В настоящее время на ряде заводов промышленности строительных материалов внедряется новое оборудование по подготовке сырья, реконструируются печи и др. Однако для многих заводов техническое перевооружение и модернизация технологии еще впереди. Получение достоверной технической информации при решении стратегических задач оптимизации производства для многих руководителей и специалистов становится особенно актуально.

В СНГ большая часть извести производится во вращающихся печах размерами 3,6×75 м, которые изначально предназначались для обжига тяжелых руд. Для

улучшения показателей работы вращающиеся печи оснащали различными конструкциями горелок, уплотнений и внепечных теплообменников. В зависимости от используемого сырья и технической оснащённости производительность этих агрегатов составляет от 170 до 490 т/сут. Во времена СССР специально для получения извести ПО «Волгоцеммаш» разработало короткие вращающиеся печи 4×50 м, которые предполагалось выпускать серийно. Проектная производительность этих печей 500 т/сут. Они имели три опоры (у печей 3,6×75 м пять опор) и оборудовались противоточными шахтными охладителем извести и подогревателем известняка. Всего были построены две такие печи, которые до сих пор эксплуатируются на Магнитогорском металлургическом комбинате. Из-за относительно низкой цены природного газа в России, низкой конкуренции и дефицита на внутреннем рынке высококачественной извести многие производители извести не уделяют должного внимания совершенствованию вращающихся печей. В эксплуатации находится большое количество печей устаревшей конструкции диаметром менее 3 м, удельный расход тепла на которых превышает 2500 ккал/кг извести.

Главное достоинство вращающихся печей, благодаря которому они нашли широкое распространение, – это возможность получения высококачественной мягко обожженной извести из мелкого и разнообразного по свойствам сырья. При этом известь высокого качества



**Рис. 1.** Установка шахтного охладителя извести на реконструированной печи с откатной головкой: 1 – головка стационарная; 2 – горелка; 3 – воздуховоды подвода горячего воздуха в печь; 4 – шахта переходная запорная; 5 – корпус охладителя с футеровкой; 6 – воздуховод подводящий; 7 – камера воздухораспределительная; 8 – узел выгрузки из охладителя

можно получать практически на любой вращающейся печи. Основной недостаток вращающихся печей – низкая экономическая эффективность, обусловленная прежде всего высоким расходом топлива и большими затратами на сооружение и обслуживание. С созданием надежных и экономичных конструкций шахтных печей для получения высококачественной извести (ППР-печи, кольцевые печи и др.) строительство вращающихся печей в последние годы неуклонно сокращается. Однако в тех случаях, когда отсутствует близость пригодное для шахтных печей прочное и чистое сырье или высока стоимость его доставки, альтернативы вращающимся печам для обжига мелкого и малопрочного сырья нет [5].

В качестве сырья во вращающихся печах, как правило, используется известняк крупностью 20–60 мм, а в некоторых случаях 5–20 мм. При использовании сырья крупностью более 60 мм приходится резко снижать производительность печей, что ведет, в свою очередь, к ухудшению всех экономических показателей. Время, за которое сырье проходит через печь, обычно составляет 2–2,5 ч и его недостаточно для обжига крупных кусков. Значительное влияние на показатели и работу печей оказывают свойства обжигаемого сырья, что зачастую недооценивается при реконструкции и создании нового производства. При обжиге сырья с низкой термической прочностью образуются большое количество мелких и пылевидных фракций, затрудняющих теплообмен внутри вращающейся печи и работу внешних теплообменников.

Для получения извести во вращающихся печах также используются кусковой мел или мел в виде шлама. Из-за высокой влажности мела показатели вращаю-

щихся печей при его обжиге значительно ниже, чем при обжиге известняка. Добыча мела намного дешевле, чем добыча известняка, и не требует взрывных работ. В центральной части России имеется множество месторождений с большими запасами мела. Создание экономической технологии обжига мела и эффективной конструкции вращающейся печи для его переработки является весьма актуальной задачей.

Основными элементами и системами вращающейся печи, которые определяют показатели ее работы на том или ином сырье, являются:

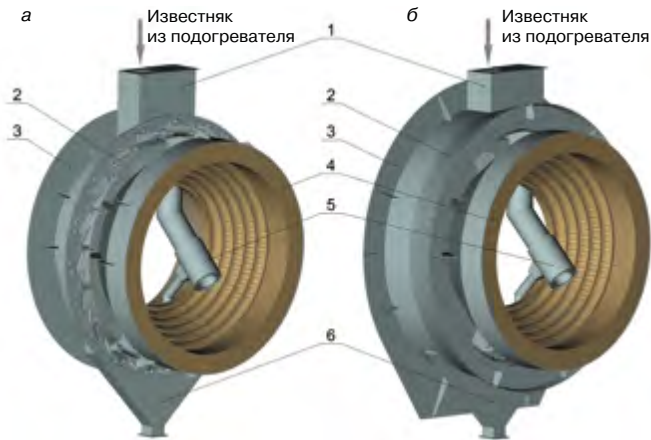
- конструкция охладителя извести;
- конструкции уплотнений горячего и холодного концов;
- конструкция горелочного устройства;
- конструкция футеровки печи;
- конструкция загрузочного узла печи;
- конструкции внутренних или запечных подогревателей сырья.

За последние 20 лет по проектам фирмы «Известа» реконструировано более 30 вращающихся известковых печей. С учетом накопленного опыта и собственных разработок ниже приводится краткое описание применяемых на практике основных элементов и систем вращающихся печей, а также даны предложения и рекомендации по их применению и совершенствованию.

#### Охладители извести.

Для утилизации тепла обожженной во вращающейся печи извести используются однобарабанные, многобарабанные и шахтные слоевые теплообменники. Утилизация осуществляется за счет нагрева теплотой извести воздуха, который затем используется для горения топлива в печи. В зависимости от конструкции охладителя температура нагретого в них воздуха составляет 200–400°C. В барабанных и многобарабанных охладителях известь в значительной степени истирается. В виду высокой температуры охлажденной извести (200–260°C) и больших потерь тепла через стенки корпусов в окружающую среду эти теплообменники имеют низкий тепловой КПД, который составляет 60–70%. Удельный расход топлива на вращающихся печах, оборудованных такими охладителями извести, обычно на 10–15% больше, чем на печах с шахтными слоевыми охладителями. Применять их следует при обжиге малопрочного и загрязненного примесями сырья с большим содержанием мелких и пылевидных фракций. Если отсутствуют какие-либо технические ограничения (строительная стесненность, большое количество мелких и пылевидных фракций в извести и др.), то экономически выгодно произвести замену однобарабанных и многобарабанных охладителей на шахтные слоевые охладители.

За последние 20 лет более 25 вращающихся печей размерами 3,6×75 м, эксплуатируемых на металлургических предприятиях СНГ, были оснащены шахтными противоточными слоевыми охладителями конструкции фирмы «Известа». Эти охладители выполнены в виде круглого бункера наружным диаметром около 5 м с конической нижней частью, внутри которого по центру расположена воздухораспределительная камера. Равномерное распределение охлаждающего воздуха в кольцевом теплообменном слое извести высотой около 2 м достигается за счет его дросселирования в выходных отверстиях камеры, а равномерный сход извести в зоне теплообмена – за счет особой конструкции выгрузочной точки. Предусмотрено постоянное измерение расхода охлаждающего воздуха, подаваемого в охладитель автономным дутьевым вентилятором, что облегчает управление режимом работы печи. В зависимости от крупности извести и конструкции печи выгрузка из



**Рис. 2.** Загрузочный узел печи с уплотнением: а – с секторным уплотнением; б – с лепестковым уплотнением; 1 – воронка загрузочная; 2 – уплотнение; 3 – фланец крепления узла загрузки к пылевой камере; 4 – конусный конец печи с футеровкой; 5 – тетка загрузочная воздухоохлаждаемая; 6 – воронка сбора просыпи известняка

охлаждителя осуществляется либо вибропитателем, либо непосредственно транспортирующим конвейером. Наибольшая эффективность работы реконструированных вращающихся печей была достигнута при использовании охладителя с запорной переходной шахтой и передачей в печь нагретого в охладителе воздуха по отдельным воздуховодам (рис. 1). Воздуховоды пропускались через боковые стенки существующей горячей головки печи и направлялись в устье факела горелки. Данная конструкция охладителя имеет несколько большую строительную высоту (около 7,5 м), но обеспечивает минимальный вынос пылевидной извести обратно в печь и может быть применена на вращающихся печах, обжигающих кусковой мел. При его использовании до минимума снизилось пылевыведение в зоне обслуживания горячей головки. Температура извести на выходе из этих охладителей в среднем не превышает 50°C, а тепловой КПД составляет предельно высокую величину – 95%. Для строительства новых печей разработана конструкция охладителя с одним вертикальным воздуховодом для передачи нагретого воздуха в головку печи. Максимальный возврат тепла обожженной извести с воздухом на горение топлива является непременным условием для достижения наивысших показателей работы вращающихся печей. При проведении масштабной реконструкции в первую очередь следует позаботиться об усовершенствовании агрегата для охлаждения извести.

**Уплотнения печи.**

Все вращающиеся печи работают под разрежением. Для снижения подсосов воздуха между корпусом печи и стационарными головками (переходной или пылевой камерой) применяют различные конструкции уплотнений. Подсасываемый воздух охлаждает элементы уплотнения, а также заглубленные в головки загрузочные и разгрузочные концы корпуса печи. Если полностью устранить подсосы и не принять должных мер для охлаждения этих элементов печи, то от воздействия высокой температуры они могут деформироваться и разрушиться. При использовании эффективных шахтных охладителей извести небольшие подсосы воздуха на горячем конце печи не приносят вреда. За счет регулировки расхода воздуха, пропускаемого через охладитель извести, легко можно подобрать режим для полного сгорания топлива с минимальным избытком воздуха. Снижение температуры отходящих из печи газов вследствие подсосов воздуха на загрузочном конце печи может значительно влиять на показатели ее работы.

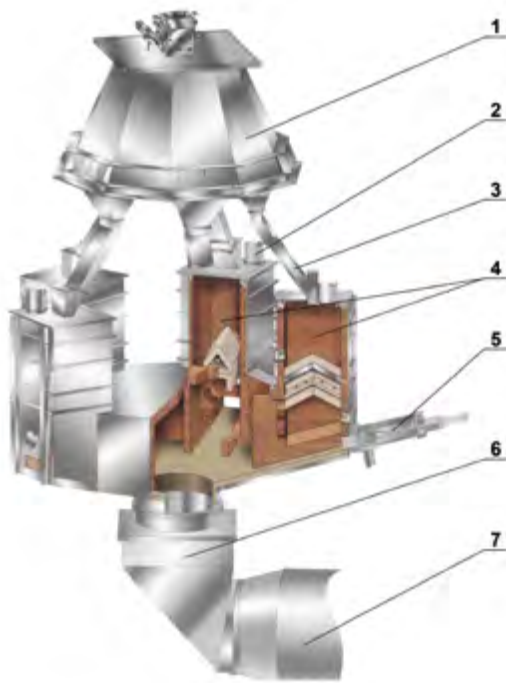


**Рис. 3.** Многоканальная газозвдушная горелка, установленная на печи 3,6×75 м

Замечено, что на печах, оборудованных шахтными подогревателями сырья, вследствие больших подсосов воздуха (при нарушении работы уплотнения) удельный расход топлива увеличивался на 15–20%. На печах, не имеющих выносных подогревателей сырья, подсосы воздуха на загрузочном конце мало влияют на их работу. В этих случаях достаточно с помощью неподвижных сегментов до минимума уменьшить зазор между головкой и вращающимся корпусом печи (с учетом его биения). На практике в основном применяются лепестковое уплотнение, а также уплотнение, состоящее из прижимных сегментов. Лепестковое уплотнение имеет простую конструкцию и надежно в эксплуатации. Лепестки изготавливают либо из пружинной стали, либо из обычной стали с прижатием их тросом. Применение секторного уплотнения с рычажной прижимной системой ограничено величиной продольного перемещения корпуса печи (не более 200 мм). Оно более сложно в изготовлении и монтаже, а также требует постоянного обслуживания. Из-за воздействия высокой температуры и пыли на шарнирные соединения уплотнение с прижимными секторами обладает малым сроком эксплуатации. Применять его рекомендуется на загрузочном конце больших по диаметру печей, где имеют место случаи перегрузки печи и попадания в них крупных кусков сырья. На рис. 2 показаны конструкции лепесткового уплотнения и уплотнения, состоящего из прижимных сегментов, рекомендуемые для применения. Они крепятся на корпусе печи и вращаются вместе с ней. Вращающееся уплотнение более удобно обслуживать и ремонтировать по сравнению с уплотнением, закрепленным на головках и пылевых камерах.

**Горелочные устройства.**

При выборе и установке горелочных устройств следует соблюдать определенные правила. Горелку следует заглублять в печь не менее чем на 1,5 м. Меньшее заглубление может вызывать выбивание запыленных газов через неплотности головки. Для известковых вращающихся печей рекомендуется применять газозвдушные горелки, через которые подается 15–20% воздуха, необходимого для сгорания топлива. Они позволяют на 3–5% снизить расход топлива по сравнению с обычными диффузионными горелками. Полезно, чтобы горелка имела устройство для изменения угла ее наклона к оси печи, а для предотвращения деформации при воздействии высокой температуры внутри печи была защищена тепловой изоляцией, например, из бетона. За рубежом, как правило, применяют громоздкие и слож-

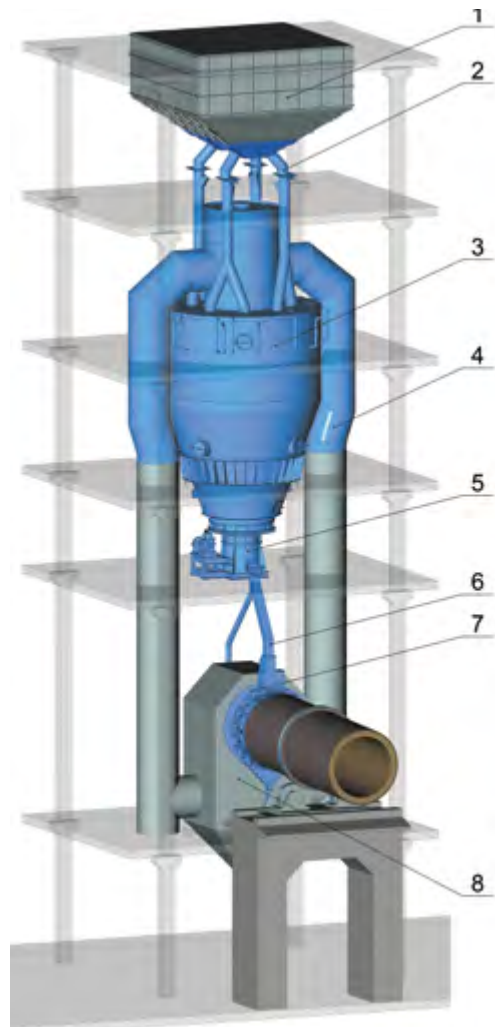


**Рис. 4.** Многосекционный подогреватель известняка с плунжерными разгрузочными толкателями: 1 – бункер расходный; 2 – газоходы отводящие; 3 – тетки запорные распределительные; 4 – противоточные теплообменные секции; 5 – толкатель плунжерный; 6 – тетка-газоход; 7 – печь вращающаяся

ные конструкции горелок, рассчитанные на использование разных видов топлива. Такой подход не оправдывает себя в России, где в качестве топлива используется в основном природный газ с давлением 0,25–0,35 МПа. Серийно газовоздушные горелки для известковых вращающихся печей в СНГ не выпускаются. Для разных по тепловой мощности печей фирма «Известа» применяет собственную простую конструкцию газовоздушной горелки, имеющую множество сопел, наклоненных под определенным углом к оси горелки. Угол наклона сопел подбирают при наладке с учетом режима обжига, свойств сырья и конструкции печи. Фотография горелки, установленной на вращающейся печи размером 3,6×75 м, представлена на рис. 3.

#### Футеровка печи.

Высокий расход топлива, характерный для всех без исключения вращающихся печей, обусловлен большими потерями тепла через стенки корпуса печи, составляющими в тепловом балансе от 15 до 20% (на шахтных печах 2–4%). Повышение теплоизоляционных свойств футеровки в высокотемпературной зоне печи, где температура корпуса достигает 400°C, как правило, связано со снижением ее стойкости. Производительность известеобжиговых вращающихся печей примерно пропорциональна квадрату их внутреннего диаметра и увеличение толщины футеровки за счет дополнительной теплоизоляции на печах диаметром менее 3 м не дает ощутимого эффекта. На печах размерами 3,6×75 м в зоне факела обычно применяют магнезитовые огнеупоры толщиной 230 мм. Большинство попыток установки между футеровкой и корпусом печи теплоизоляционной подложки из шамотного кирпича толщиной 40–60 мм не имело успеха. При этом снижалась стойкость самой футеровки, усложнялся ее ремонт и увеличивались затраты на его проведение. В последние годы для футеровки вращающихся печей на некоторых заводах стали применять жаропрочные бетоны, обладающие высокими теплоизоляционными свойствами. Однако, в силу

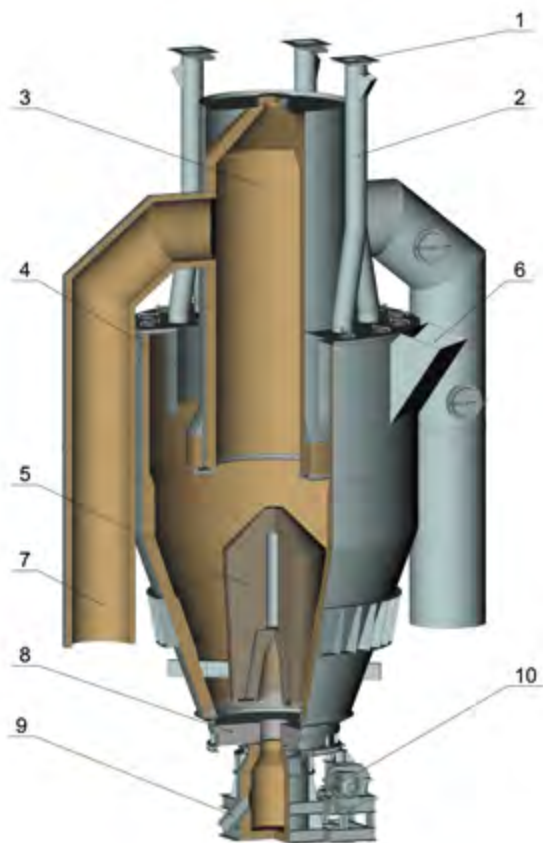


**Рис. 5.** Установка шахтного подогревателя известняка на реконструированной печи взамен перекрестно-точного подогревателя с пароиспарительным контуром: 1 – бункер расходный (существующий); 2 – тетки загрузочные запорные; 3 – подогреватель; 4 – газоходы подводящие; 5 – устройство выгрузочное с приводом; 6 – тетка подачи нагретого известняка с узлом отдува мелочи; 7 – загрузочный узел печи; 8 – камера пылевая

сложности монтажа и ремонта, широкого распространения это направление пока не нашло. При строительстве новых для снижения потерь тепла через корпус вращающихся печей следует уменьшать их длину и применять высокотемпературные шахтные подогреватели сырья. В этом случае для печей диаметром 3,6 м оптимальной является длина 55–60 м.

#### Загрузочный узел.

Загрузка вращающихся печей обычно осуществляется по наклонной трубе, пропущенной через свод пылевой камеры. Длина наклонной загрузочной трубы на печах диаметром 3,6 м составляет около 5 м. Куски известняка, загружаемые в такую трубу, разгоняются и, попадая в печь, разрушают футеровку в области загрузки. Для обеспечения стойкости узла загрузки к воздействию высокой температуры (до 1200°C) была разработана конструкция, показанная на рис. 2. В ней наклонный участок загрузочной трубы составляет около 1 м, а сама труба имеет воздухоохлаждаемый корпус и крепится в специальной переходной секции, присоединенной к пылевой камере. Многолетний опыт эксплуатации показал высокую стойкость элементов данной конструкции даже при выбивании горячих газов из

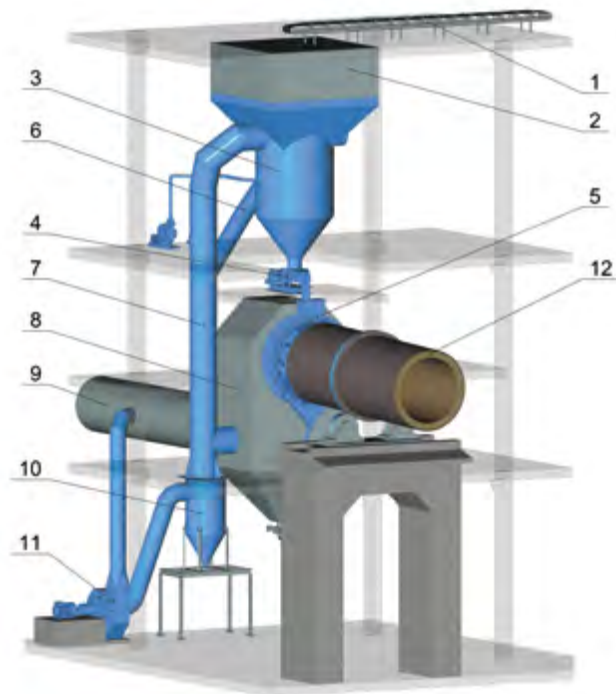


**Рис. 6.** Шахтный противоточный подогреватель известняка для установки на реконструированной печи взамен перекрестно-точного подогревателя с пароиспарительным контуром: 1 – затворы штыревые; 2 – точки загрузочные запорные; 3 – камера газораспределительная; 4 – тетка кольцевая распределительная; 5 – вставка огнеупорная; 6 – газоход отводящий; 7 – газоходы подводящие; 8 – устройство выгрузочное; 9 – тетка подачи нагретого известняка; 10 – привод выгрузочного устройства

уплотнения. Использовать его рекомендуется на печах, оборудованных высокотемпературными подогревателями сырья.

#### Подогреватели известняка.

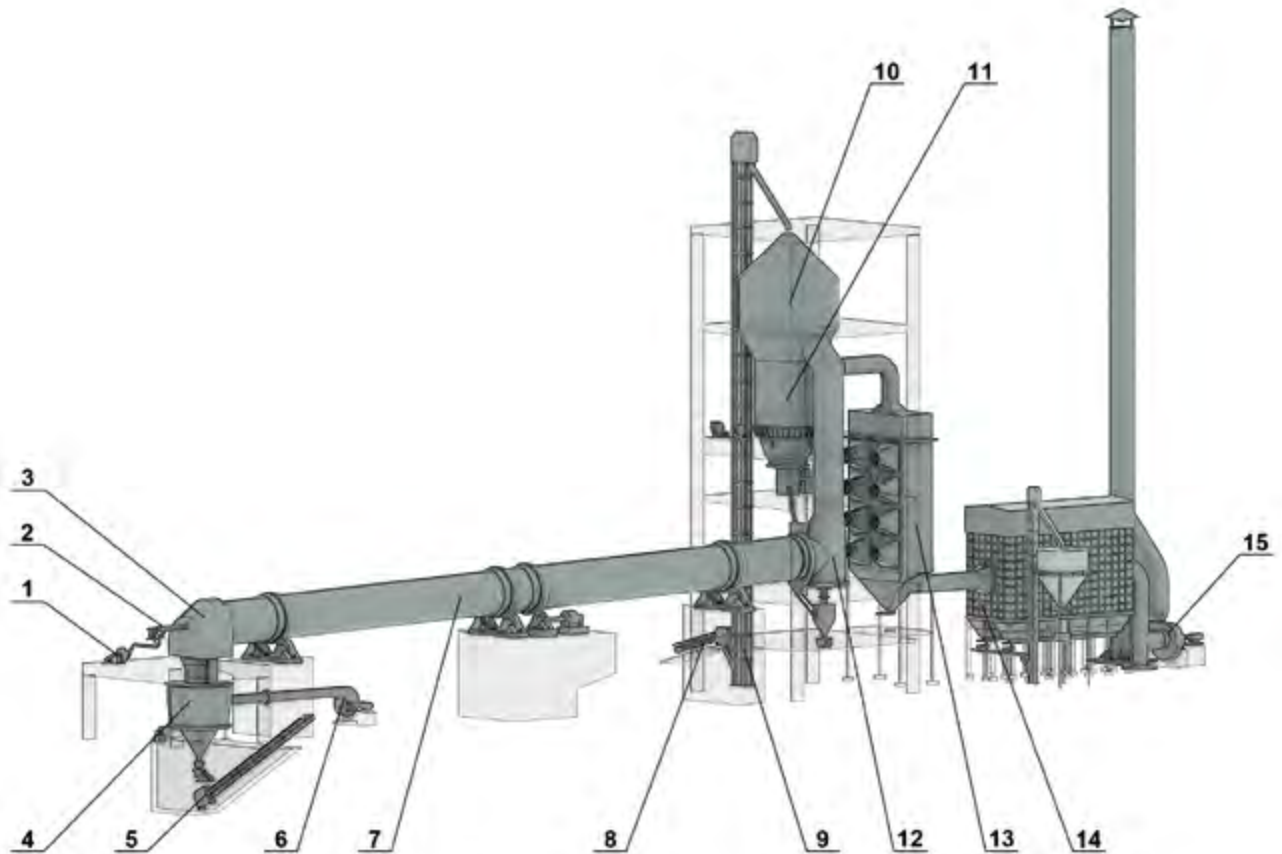
В мировой практике было создано множество различных конструкций шахтных подогревателей сырья. В последние годы за рубежом в основном применяются противоточные многосекционные подогреватели с плунжерными разгрузочными толкателями и передачей известняка в печь и газов в подогреватель по одной течке-газоходу (рис. 4). Они обладают высокой тепловой эффективностью и успешно работают при использовании термически прочного, чистого, а также мытого фракционированного сырья. Первые конструкции подогревателей с плунжерными разгрузочными толкателями в СССР были применены в 1990 г. при строительстве двух вращающихся печей размерами 3,6×75 м на Череповецком металлургическом комбинате. Для того времени эти печи имели самые высокие в стране показатели – производительность 450 т/сут, удельный расход топлива 1350 ккал/кг извести, содержание CO<sub>2</sub> в извести в среднем 3%. Вместе с тем выявились и серьезные технологические проблемы. Через 2–4 мес непрерывной эксплуатации печи приходилось останавливать на длительную и трудоемкую чистку подогревателей от наростов. Пылевидные частицы известняка, извести и примесей, содержащиеся в отходящих из печи газах, частично осаждаются в слое известняка и затем вместе с нагретым сырьем обратно возвращаются в печь.



**Рис. 7.** Установка малогабаритного шахтного подогревателя известняка на реконструированной печи с котлом-утилизатором: 1 – конвейер тракта подачи известняка; 2 – бункер расходный (существующий); 3 – подогреватель; 4 – устройство выгрузки нагретого известняка из подогревателя; 5 – загрузочный узел печи; 6 – газоход отводящий из подогревателя; 7 – газоход подводящий; 8 – камера пылевая; 9 – газоход отходящих газов из печи; 10 – камера пылеосадительная; 11 – дымоход подогревателя; 12 – печь вращающаяся

Происходит так называемая циркуляция пыли в системе печь–подогреватель, что со временем вызывает образование плотных отложений в слое известняка вплоть до полной закупорки подогревателя. Частота остановок на очистку подогревателя в большой степени зависит от свойств сырья. На печах Магнитогорского металлургического комбината, где используется термически слабый известняк, на таких подогревателях пришлось обустроить байпас, по которому часть высокотемпературных газов вместе с пылью сбрасывалась сразу в газоочистку. До этого подогреватель полностью закупоривался пылью даже в период разогрева печи. Этот отрицательный опыт приостановил дальнейшее тиражирование подогревателей сырья с плунжерными разгрузочными толкателями.

Для реконструкции действующих вращающихся печей и повышения их показателей была разработана и успешно применена на многих металлургических заводах принципиально новая конструкция противоточного подогревателя [6], пригодная для использования разного по свойствам, прочности и чистоте сырья. Главная особенность его конструкции заключалась в том, что нагретый в подогревателе известняк передавался в печь по металлической течке, где содержащиеся в нем пылевидные частицы отдувались в газоочистку. Таким образом удалось предотвратить циркуляцию пыли и увеличить время непрерывной работы печи. Кроме того, известняк сразу после нагрева длительное время находился в теплоизолированной зоне подогревателя, где происходит выравнивание температуры по толщине кусков. При этом снижается температура поверхности кусков известняка, а также температура отходящих из печи газов. Общий вид подогревателя, установленного на вращающейся печи 3,6×75 м взамен малоэффективного подогревателя с пароводяной системой охлаждения каркаса и перекрестной схемой те-



**Рис. 8.** Установка вращающейся печи с выносными теплообменниками: 1 – вентилятор подачи первичного воздуха в горелку; 2 – горелка многоканальная; 3 – головка стационарная; 4 – охладитель извести; 5 – конвейер тракта подачи извести; 6 – вентилятор подачи воздуха в охладитель; 7 – печь вращающаяся; 8 – конвейер тракта подачи известняка; 9 – элеватор; 10 – бункер расходный; 11 – подогреватель известняка; 12 – камера пылевая; 13 – доохладитель отходящих газов; 14 – фильтр рукавный; 15 – дымосос

плообмена, представлен на рис. 5. Конструкция подогревателя разрабатывалась с учетом минимальных изменений несущих и строительных конструкций существующих зданий загрузочных головок. Как и вышеупомянутый противоточный шахтный охладитель извести, подогреватель выполнен в виде конического бункера диаметром около 7 м (рис. 6). Отходящие из печи газы через пылевую камеру подаются к нему по двум газоходам. Для выгрузки нагретого известняка применяется вращающийся горизонтальный стол. Кольцевая теплообменная зона в подогревателе имеет сравнительно небольшую высоту – около 0,8 м, а его аэродинамическое сопротивление не превышает 2 кПа. Существующая газоочистка печей при реконструкции оставалась без изменения. Сравнительные показатели после замены подогревателя, достигнутые на лучших образцах печей, представлены в табл. 1.

В эксплуатации еще находится большое количество печей, не имеющих внешних подогревателей сырья. Для утилизации тепла отходящих высокотемпературных газов из этих печей обычно применяют котлы-утилизаторы, вырабатывающие пар для собственных нужд. Показатели работы таких печей можно существенно улучшить за счет оборудования их малогабаритными противоточными подогревателями, через которые пропускается только часть отходящих из печи газов (40–60%). Окупаемость затрат на установку таких подогревателей, как показал опыт, не превышает одного года. Выгрузка сырья в печь из малогабаритного подогревателя (внешний диаметр 3,5–4 м) осуществляется через разгрузочную течку качающимся питателем специальной герметичной конструкции с воздухоохлаждаемыми элементами. Известняк при этом практически не измельчается и вместе с уловленными при

нагреве пылевидными частицами направляется в печь на обжиг. Корпус подогревателя может быть прикреплен к существующему расходному бункеру. Отходящие из печи газы через пылевую камеру подаются в подогреватель по одному газоходу. Для прохождения газов через подогреватель применяется автономный дымосос. Общий вид установки подогревателя на вра-

**Таблица 1**  
**Сравнительные показатели вращающейся печи до и после замены подогревателя известняка**

Наименование	Показатели	
	до замены	после замены
Производительность, т/сут т/ч	360 15	490 20,4
Удельный расход: условного топлива, кг/т извести тепла на получение извести, ккал/кг	260 1820	187 1309
Содержание CO <sub>2</sub> (ППП) в извести, %	5	4
Температура (в среднем), °С: отходящих газов в пылевой камере перед подогревателем отходящих газов после подогревателя нагрева известняка (поверхностная)	880 850 380 650	1050 1000 340 750
Гидравлическое сопротивление подогревателя, кПа	2,5–3	1,5–2
Степень обжига известняка на выходе из подогревателя, %	5	25

**Таблица 2**

**Сравнительные показатели вращающейся печи до и после установки малогабаритного подогревателя известняка**

Наименование	Величина	
	до установки	после установки
Производительность, т/сут т/ч	319 13,3	396 16,5
Удельный расход условного топлива, кг/т извести тепла на получение извести, ккал/кг	270 2010	215 1507
Содержание CO <sub>2</sub> (ППП) в извести, %	6,5	4,7
Температура (в среднем), °С, отходящих газов в пылевой камере перед подогревателем	750 –	1025 1000
отходящих газов после подогревателя нагрева известняка (поверхностная)	–	100 575
отходящих газов перед котлом-утилизатором	580	570
Гидравлическое сопротивление подогревателя, кПа	–	1,4–1,6
Степень обжига известняка на выходе из подогревателя, %	–	5

шающейся печи, оборудованной котлом-утилизатором, представлен на рис. 7, а ее сравнительные технико-экономические показатели – в табл. 2. Следует отметить, что с установкой подогревателя известняка показатели работы котла-утилизатора и газоочистки почти не изменились. Опыт работы показал, что печи с такими подогревателями обладают высокой надежностью и стабильностью параметров. Они полностью лишены проблем, связанных со смерзанием сырья в расходном бункере, течках и на питателе печи в осенне-весенний период года.

В настоящее время при обжиге кускового мела на печах диаметром 3,6 м достигнуты следующие показатели: производительность не более 300 т/сут, удельный расход топлива не менее 1700 ккал/кг извести. Влажный мел (природная влажность до 25%) имеет низкую прочность и склонность к слипанию при хранении в бункерах. При попадании его в печь в зоне загрузки образуются настлы в виде колец, которые нарушают работу печи. Решетки грохотов, используемых для выделения из влажного мела мелких фракций, быстро замазываются, а грохоты работают крайне нестабильно. После сушки и подогрева прочность мела значительно увеличивается и такой мел прекрасно подходит для обжига в традиционных вращающихся печах, применяемых для обжига кускового известняка. Целесообразно раздробленный на валковых дробилках влажный мел крупностью до 60 мм сначала подвергать сушке, а затем уже грохочению и подаче в шахтный подогреватель для высокотемпературного нагрева. Выделенные после сушки мелкие фракции сухого мела крупностью 0–15 мм удобны для транспортировки и могут быть успешно использованы в агломерации и сельском хозяйстве. Из-за низкой прочности сушку влажного мела рекомендуется производить в слоевом прямоточном теплообменнике. Он может быть сооружен непосредственно в пылевой камере печи. Осушенный и подогретый до 150°С мел после грохочения или отдува мелких фракций элеватором подается в вышеописанный малогабаритный шахтный подогреватель или сразу загружается в печь. По

технико-экономическим показателям обустроенная таким образом печь, работая на мелу и известняке, будет иметь одинаковые показатели. ОАО «Белгородский завод строительных материалов» планирует в 2017 г. опробовать предварительную сушку мела в пылевой камере на своих вращающихся печах размерами 3,6×75 м.

Для новых строящихся коротких вращающихся печей фирма «Известа» разработала более простую и усовершенствованную конструкцию подогревателя сырья. Она имеет меньшие размеры и выполнена воедино с расходным бункером. Отходящие из печи газы через переходную камеру подаются в подогреватель по одному газопроводу. Переходная камера имеет значительно меньшие размеры по сравнению с обычной пылевой камерой. Из-за высоких скоростей газов, пылевидные частицы в переходной камере и газопроводе практически не осаждаются. Общий вид современной конструкции короткой вращающейся печи с шахтными противоточными теплообменниками представлен на рис. 8. Для снижения температуры отходящих газов перед рукавным фильтром газоочистки предусмотрен трубчатый воздушный охладитель (13). При размерах печи 3,6×60 м ее производительность составит 450–500 т/сут, а удельный расход топлива не более 1250 ккал/кг извести.

**Список литературы**

1. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. М.: Стройиздат, 1982. 384 с.
2. Монастырёв А.В. Требования потребителей к свойствам извести для ячеистого бетона и технологические приемы по их обеспечению // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 36–37.
3. Корнеев В.И., Зозуля П.В. Сухие строительные смеси. М.: Стройматериалы, 2010. 320 с.
4. Семёнов А.А. Ситуация на российском рынке извести // *Строительные материалы*. 2012. № 5. С. 107–110.
5. Монастырёв А.В. Пути снижения расхода топлива при обжиге мела с получением извести в длинных вращающихся печах // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 9–15.
6. Патент РФ 2568806. *Шахтный подогреватель кускового материала* / Зуев В.И. Заявл. 11.06.2014. Опубл. 20.11.2015. Бюл. № 32.

**References**

1. Khavkin L.M. *Tekhnologiya silikatnogo kirpicha* [Technology of a silicate brick]. Moscow: Stroyizdat. 1982. 384 p.
2. Monastirev A.V. Requirements of Consumers to Properties of Lime Used for Cellular Concrete and Technological Means to Guarantee these Properties. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 36–37. (In Russian).
3. Korneev V.I., Zozulya P.V. *Sukhie stroitel'nye smesi* [Dry construction mixes]. Moscow: Stroimaterialy. 2010. 320 p.
4. Semenov A.A. Situation at the Russian Market of Lime. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 5, pp. 107–110. (In Russian).
5. Monastirev A.V. Ways of Reduction of Fuel Consumption in the Course of Chalk Roasting with Production of Lime in Long Rotary Kilns. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 9–15. (In Russian).
6. Patent RF 2568806. *Shakhtnyi podogrevatel' kuskovogo materiala* [Mine heater of lumpy material]. Zuev V.I. Declared 11.06.2014. Published 20.11.2015. Bulletin No. 32. (In Russian).