

На правах рукописи

**Швецов Виталий Иванович**

**НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ  
НАДЕЖНОСТИ СЛУЖБЫ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОКСА**

Специальность 05.17.07- химическая технология топлив  
и высокоэнергетических веществ

**АВТОРЕФЕРАТ**  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ  
СТЕПЕНИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Москва- 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии  
"Восточный научно-исследовательский углехимический институт"

Научный консультант: доктор технических наук, профессор,

**Сухоруков Вадим Иванович**

Официальные оппоненты:

1. **Лутков Анатолий Иванович**, доктор технических наук, профессор,

ООО «ГОРТОП», научный консультант

2. **Карпин Григорий Моисеевич**,

доктор технических наук, старший научный сотрудник,

ООО «УК Мечел – Майнинг», главный специалист по коксохимическому производ-  
ству

3. **Филоненко Юрий Яковлевич**,

доктор технических наук, профессор, Липецкий государственный технический уни-  
верситет, заведующий кафедрой «Химическая технология и экология»

Ведущая организация: Уральское федеральное государственное автономное образо-  
вательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский феде-  
ральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Защита состоится 29 мая 2012 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета  
Д 212.204. 08 в конференц-зале РХТУ им. Д. И. Менделеева  
(125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре  
РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Разина Галина Николаевна

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Анализ развития коксохимической промышленности не дает оснований в ближайшее время ожидать существенного изменения технологии коксования - скорее всего это будет усовершенствование действующей технологии с ограниченными возможностями ее улучшения. В последние десятилетия во всем мире резко обострился вопрос обновления печного фонда - потребовались значительные инвестиции: стоимость комплекса новой коксовой батареи сегодня превысила 300 млн. долл. США. Даже богатые, промышленно развитые страны не идут на такие затраты, поэтому ставится вопрос о более длительной эксплуатации действующего печного фонда до 30, 40 лет и более. При такой постановке вопроса актуальность работы, направленной именно на продление срока службы коксовых батарей, в том числе и большегрузных, очевидна.

**Цель работы:** разработать научно-методологические основы повышения надежности и увеличения срока службы коксовых батарей до 40 и более лет, в том числе, технологическими, техническими решениями как при реконструкции, так и новом строительстве; научно обосновать, разработать технологию и осуществить способы ремонта отопительных простенков без остановки обогрева, без потери или с минимальной потерей производительности. Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие основные задачи: (1) изучить состояние и перспективы развития производства кокса в России и в мире, основные его проблемы, новые технические решения; (2) сформулировать научные основы влияния на огнеупорную кладку современных коксовых печей свойств угольной шихты, способов ее подготовки, плотности, технологических параметров режимов, теоретических моделей деформации кладки; (3) изучить механизм возникновения и динамику развития дефектов огнеупорной кладки обогревательных простенков; (4) провести экспериментальные исследования, разработать методы и технологию ремонта отопительных простенков на различную глубину путем «горячей» перекладки без остановки обогрева смежных простенков; (5) выполнить сопоставительный технический, технико-экономический и экологический анализ технологии «холодной» и «горячей» перекладки отопитель-

ных простенков; (6) определить перспективы и направления реконструкции и модернизации печного фонда России.

**Научная новизна:** (1) научно обоснована взаимосвязь величины давления коксования в промышленных условиях и плотности угольной загрузки, которая описывается уравнением регрессии

$$P = 0,000412 \gamma^2 - 0,5942 \gamma + 229,921; \quad R^2 = 0,9577$$

где: P -давление коксования, кПа;  $\gamma$  - плотность насыпной массы угольной загрузки в печной камере, кг/м<sup>3</sup> (с.в.). Полученные данные необходимы для расчетов прочности простенков при проектировании коксовых батарей, предназначенных для коксования брикетированной, термopодготовленной и трамбованной шихты; (2) научно обоснована взаимозависимость выбранной серийности выдачи-загрузки печей и величины нескомпенсированного давления коксования на отопительные простенки, которое находится в интервале 0-7 кПа; (3) впервые научно обоснован и выполнен расчет прочности простенков по схеме «ортотропная плита, защемленная с четырех сторон» при фактической величине давления коксования. Установлено, что при различных соотношениях (K) величин горизонтальных перерезывающих сил и веса вышележащей кладки схема нагружения простенка может изменяться от «балки защемленной с двух сторон» ( $K < 0,75$ ) на «консоль» ( $K \geq 1$ ). В интервале значений  $K=0,75-1,0$  возможна любая схема нагружения; (4) исследован и показан механизм ускоренного разрушения кладки простенков большегрузных коксовых батарей. Установлено, что при схеме нагружения «консоль» у внешних ребер верхних рядов стеновых изделий возникают дополнительные, ранее не учитывавшиеся, локальные горизонтальные растягивающие и вертикальные срезающие напряжения, при этом скорость развития дефектов кладки увеличивается в 2-3 раза; (5) впервые научно обоснован и выполнен прогнозный расчет динамики производственной мощности коксовых батарей различных конструкций в течение срока эксплуатации, как по состоянию головочных участков, так и основного массива кладки простенков. За действующие факторы при расчете приняты вертикальные, горизонтальные растягивающие напряжения в кладке простенков как функции геометрических размеров простенков, фактического давления коксования и количество циклов «выдача-загрузка», термомеханические параметры динаса как функции заданного оборота печей. Установлено, что вертикальные растя-

гивающие напряжения не являются основной причиной ускоренного разрушения кладки простенков большегрузных печей; (6) впервые разработан научно обоснованный способ «горячего» ремонта простенков коксовых батарей на различную глубину с совмещением процессов кладки и частичного разогрева вновь уложенного динасового огнеупора, который внедрен на 7 коксохимических предприятиях: ОАО «НТМК»; ОАО «Северсталь»; «VSP»; «BSP» (Индия); «Нова Гуть» (Чехия); Искендерунский МК (Турция); Джиугуанский МК (Китай).

**Практическая значимость работы.** К важнейшим технологическим и техническим разработкам отнесены: (1) определение в заводских условиях давления коксования на отопительные простенки коксовых батарей для повышения достоверности расчета их прочности при проектировании; (2) рекомендации предприятиям по применению серийности выдачи-загрузки печей; (3) определение в заводских условиях влияния перерезывающих сил, действующих по горизонтальным участкам на величину смещения верха простенков от продольной оси; (4) объяснение механизма резкого (в 2-3 раза) увеличения скорости развития дефектов огнеупорной кладки основного массива простенков при схеме нагружения «консоль» и рекомендации по установке Т-образных сводовых изделий при проектировании и проведении ремонтов; (5) методика прогнозного расчета изменения производительности батарей в процессе эксплуатации; (6) комплекс технологий «горячей» перекладки простенков на различную глубину. Ремонты по разработанным технологиям могут проводиться в любых климатических условиях и в любое время года без потери или с минимальной потерей производительности коксовой батареи. Срок службы батареи после «горячего» ремонта головочных участков кладки увеличивается на 15-17 лет против 5-7 лет при «холодном» ремонте.

Экономический эффект, полученный в результате внедрения результатов работы на коксохимических предприятиях в России и за рубежом, подтверждается следующими документами: (1) расчет экономического эффекта от проведения горячих ремонтов кладки на коксовой батарее № 2 ОАО «Алтай-кокс»; (2) расчет экономического эффекта от проведения горячих ремонтов кладки на коксовой батарее № 5 ОАО «Кокс» (г. Кемерово); (3) справка об экономическом эффекте от ремонтов в коксовом цехе №

3 ОАО «НТМК»; (4) сведения о полученном в результате горячих ремонтов экономическом эффекте на ЗАО «Русская металлургическая компания»; (5) справка об экономическом эффекте от внедрения ЗАО «Огнеупоркоссервис» технологии горячих ремонтов на зарубежных предприятиях.

**Апробация работы.** По результатам работы были сделаны устные и стендовые сообщения на международных и региональных семинарах, в частности: «Состояние коксового печного фонда в России и Украине» г. Новокузнецк, 2001г; «Состояние коксового печного фонда стран СНГ», г. Челябинск, 2002 г.; «Школа-семинар специалистов коксового производства», г. Заринск, Алтайского края, 2004 г.; «Основные проблемы сохранности коксового печного фонда», г. Магнитогорск, 2005 г.; «Современные методы обеспечения сохранности коксового печного фонда», г. Череповец, 2006 г.; «Перспективы обеспечения сохранности коксового печного фонда», г. Кемерово, 2007 г.; «Проблемы эксплуатации и сохранности коксового печного фонда», г. Первоуральск, 2008 г.; «Проблемы эксплуатации и сохранности коксового печного фонда в условиях экономического кризиса», г. Челябинск, 2009 г.; «Опыт эксплуатации современных коксовых батарей и обеспечение сохранности коксового печного фонда», г. Новокузнецк, 2010 г.

**Личный вклад автора:** (1) анализ состояния коксового производства в России и в мире. Постановка цели и задач исследования; (2) промышленные исследования перемещения верха простенков высотой 7 м при отсутствии заземления в своде; (3) разработка и исследование механизма ускоренного разрушения кладки большегрузных коксовых батарей при нагружении их простенков по схеме «консоль»; (4) разработка технологии и промышленные исследования способа «горячей» перекладки простенков на различную глубину – **выполнены автором**, (5) промышленное исследование давления коксования в печах высотой 7 м; (6) исследование взаимосвязи давления коксования и плотности угольной загрузки; (7) исследование взаимозависимости серийности загрузки-выдачи печей и величины некомпенсированного давления коксования; (8) теоретические исследования простенков коксовых батарей на прочность; (9) теоретические исследования и прогнозный расчет производственной мощности

коксовых батарей за период эксплуатации; (10) научное обоснование теплотехнических параметров процессов совмещения кладки и частичного разогрева вновь уложенного огнеупора; (11) модернизация способа «горячей» перекладки простенков на всю длину – **в соавторстве.**

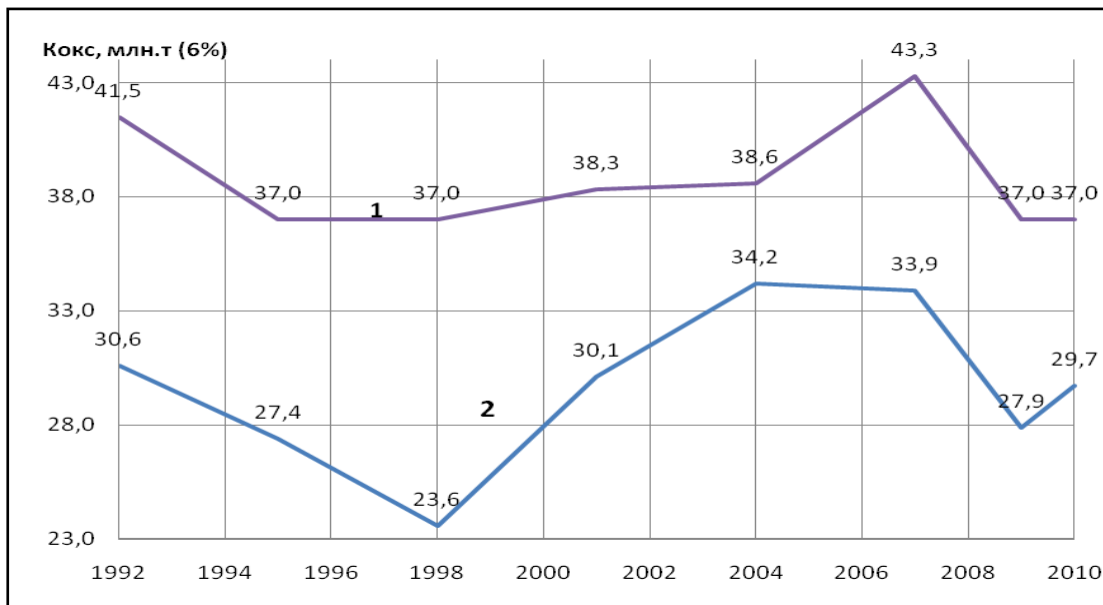
**На защиту выносятся:** (1) результаты анализа основных причин возникновения и динамика развития дефектов огнеупорной кладки отопительных простенков, в том числе: угольной сырьевой базы коксования, газодинамических условий и давления коксования, серийности выдачи-загрузки печей, плотности угольной загрузки, геометрических размеров печей; (2) результаты теоретических и экспериментальных промышленных исследований огнеупорной кладки обогревательных простенков коксовых печей на прочность; (3) результаты исследования и анализ механизма образования и динамики развития дефектов огнеупорной кладки от действия перерезывающих сил (схемы нагружения); (4) результаты теоретического исследования надежности кладки обогревательных простенков и методика прогнозного расчета динамики производительности коксовых батарей в процессе эксплуатации; (5) результаты теоретического исследования и разработка технологии «горячего» ремонта отопительных простенков на глубину 4-6 вертикалов с совмещением процессов кладки и частичного разогрева уложенного огнеупора.; (5) эффективность применяемых способов ремонта огнеупорной кладки без остановки обогрева простенков; (6) принципиальные положения по проектированию и строительству коксовых батарей будущего.

### **Краткое содержание работы**

Работа состоит из введения, 8 основных глав, заключения, приложений №№ 1-6, списка литературы. Во введении обоснованы: цель, актуальность, новизна и практическая значимость работы. В главе (1) представлен анализ общей характеристики и состояния коксового производства в России и в мире. В результате анализа показано, что металлургический кокс еще длительное время будет основным тепловым и восстановительным компонентом в металлургии. Основным агрегатом для производства кокса остаются батареи вертикальных печей, принципиально не меняющихся по сво-

ему конструктивному оформлению, но оснащенных современными автоматизированными и механизированными средствами, более экологически безопасных. По состоянию на январь 2011 г. в России на 11 коксохимических предприятиях находятся 59 коксовых батарей общей проектной мощностью 37 млн. тонн кокса/год. Фактическое производство кокса в 2008 г. составило около 32 млн.т., в 2009 г – 27,4 млн.т., т.е снизилось на 14%, в 2010 г. – увеличилось до 29,7 млн.т или на 8,4%.

Динамика проектной производительности и фактического производства кокса в период 1992-2010 г.г. представлена на рис. 1.1.



**Рис. 1.1. Динамика проектной производительности (1) и производства кокса (2) в России**

В период кризиса 2008-2009 г.г. из эксплуатации были выведены 8 наиболее возрастных батарей общей проектной производительностью 4,936 млн. т кокса в год, за счет этого средний возраст батарей в России снизился по сравнению с 2008 годом и составил 21,4 года, при сроке амортизации 18 лет. Для приведения печного фонда в полностью рабочее состояние требуются либо значительные инвестиции для дорогостоящего нового строительства, либо разработка необходимых условий коксования, методов капитальных ремонтов для продления срока службы действующих коксовых батарей.

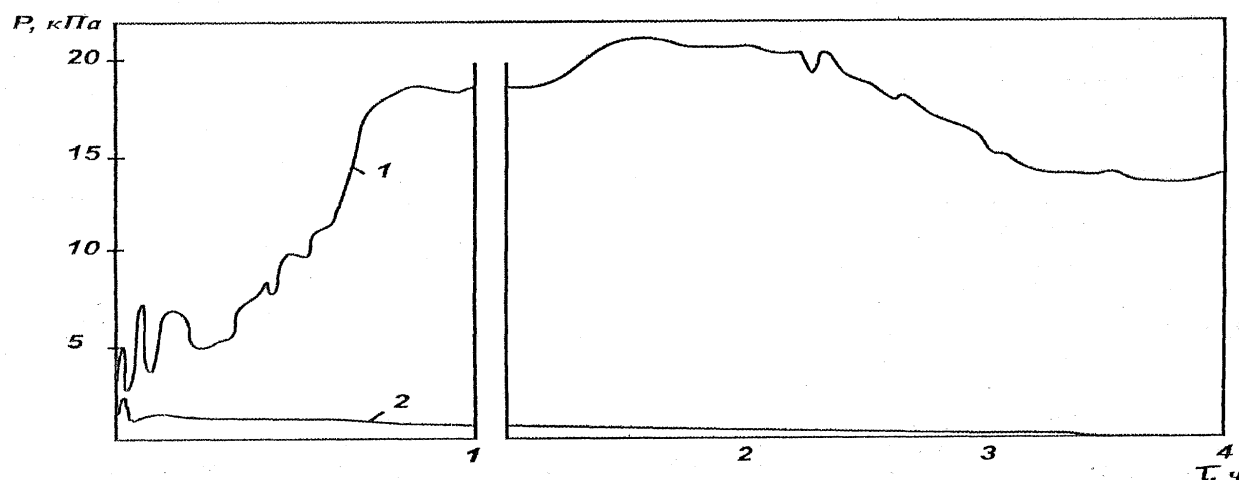
В главе (2) рассмотрены основные проблемы и перспективы коксового производства в России. Показано, что коксохимическая промышленность России на ~83% работает



на углях Кузбасса. В последние 20 лет состояние угольной сырьевой базы России (2.1) является неудовлетворительным. Показатели качества угольной шихты по содержанию влаги, зольности, выходу летучих веществ и спекаемости сильно колеблются во времени из-за нестабильности поставок и качества угольных концентратов, выпускаемых обогатительными фабриками, кроме того - непостоянство угольных баз самих коксохимических предприятий. Практически все предприятия работают на шихтах, имеющих различия по всем параметрам. Эти причины, а особенно нестабильность состава шихт на коксохимических предприятиях, приводят к резким колебаниям давления на стены печных камер в процессе коксования и вызывает их преждевременное разрушение. В разделе (2.2) рассмотрены свойства углей в процессе коксования, определяющие давление на стены печных камер. Автор не претендует на новые сведения по этому вопросу, так как это не входило в задачи исследований в данной работе, поэтому воспользовался лишь известными литературными данными для определения роли отдельных стадий процесса коксования на давление коксования и нагрузки на стены печных камер, определяющих их прочность и надежность. Исследованиями ВУХИНа установлено, что увеличение спекаемости, приводя, с одной стороны, к повышению прочности структуры кокса, с другой - ведет к повышению давления пластической массы на стены печных камер. То есть, должен быть установлен оптимальный уровень спекаемости не вызывающий резкого повышения давления коксования, а это в значительной степени зависит и от технологии подготовки углей к коксованию.

В главе (3) выполнен анализ технологий подготовки углей к коксованию и их влияние на давление коксования. Боковая нагрузка на стены камер обусловлена: (1) составом и качеством угольных шихт, особенно по их спекаемости; (2) в начальный период - динамическим боковым давлением угольной шихты при загрузке в печь; (3) статическим боковым давлением угольной загрузки; (4) давлением на стены камер выделяющихся парогазовых продуктов; (5) давлением вспучивающейся пластической массы угольной шихты (давлением коксования). Проведенными с участием автора исследованиями в промышленных условиях (с помощью специального устройства разработанного в ВУХИНе) установлено, что при загрузке даже влажной шихты нагрузка на стены печной камеры в несколько раз превышает давление коксования, оп-

ределенное в полузаводских условиях. Полученные результаты представлены на рис. 3.1. В разделе (3.1) выполнен анализ технологий подготовки шихты и их влияния на давление коксования. На большинстве коксохимических предприятий России и за рубежом применяются обычные схемы подготовки угольных шихт: ДШ (дробление шихты), ДК (дробление компонентов), ДДК (дифференцированное дробление компонентов) и ГДК (групповое дробление компонентов). Насыпная плотность таких шихт при уровне измельчения 75-80% содержания класса <3 мм составляет 720-750 кг/м<sup>3</sup>. Все эти способы отличаются неоднородностью распределения вещественного состава по классам крупности.



**Рис. 3. 1. Давление коксования (1) и газовое давление (2) в промышленных условиях**

(3.1.1) *Избирательное измельчение углей* с применением пневмосепарации является единственным известным способом изменить неоднородность вещественного состава углей по классам крупности в готовой шихте. Плотность шихты при этом повышается незначительно, поэтому давление коксования практически такое же, как на обычной влажной шихте.

(3.1.2) *Частичное брикетирование* угольной шихты. В связи с неудовлетворительными тенденциями развития сырьевой базы коксования в России и других странах эта технология становится одной из основных для получения кокса требуемого качества. Вместе с тем, введение брикетов на связующем и повышение при этом плотности

угольной шихты, а также снижение газопроницаемости пластического слоя и усадки шихты, безусловно, могут оказать повышенное давление коксования на стены печных камер. Так, загрузка из шихты с 15% брикетов имеет общую величину вертикальной усадки на 100 мм меньше, а с 30% усадка уменьшилась до 210 мм, что на 40% меньше, чем у производственной шихты. Длительные положительные результаты использования этой технологии в Украине (Криворожский коксохимический завод) и многих зарубежных странах дают основания считать эту технологию приемлемой для осуществления в России.

(3.1.3) *Термическая подготовка угольной шихты.* Термическая обработка углей является одним из наиболее эффективных методов удешевления сырья, повышения качества кокса и производительности батарей. Вместе с тем отмечается существенное повышение давления коксования на стены печных камер в сравнении с обычной влажной шихтой. По этой причине термоподготовка не может применяться в печах традиционных конструкций.

(3.14). *Трамбование угольной шихты.* Эта технология широко применяется для коксования слабоспекающихся газовых углей в странах Европы: Германии, Чехии, Польше, Югославии, Румынии и др. Технология позволяет из слабоспекающихся угольных шихт получать кокс высокого качества. Однако, при плотности угольного пирога 1,05-1,1 т/м<sup>3</sup> и зазоре между угольным пирогом и стенкой коксовой камер 20 мм, средняя плотность угольной загрузки при коксовании снижается незначительно, что предопределяет повышенное давление коксования.

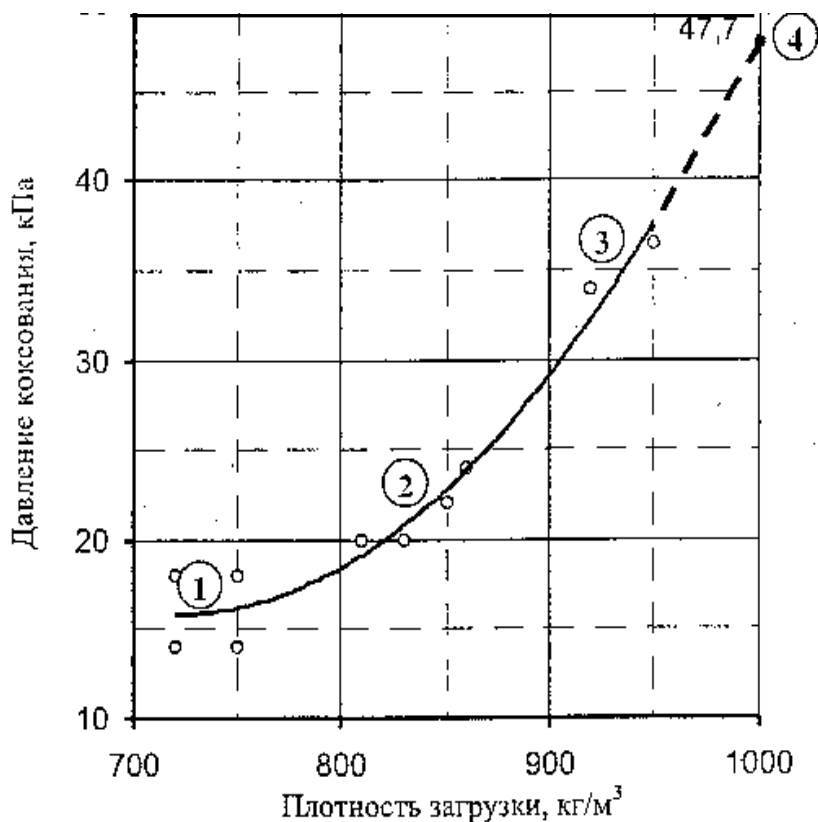
(3.1.5) *Давление коксования и нагрузка на стены печных камер.* Давление коксования зависит, прежде всего, от генетических свойств углей, способов их подготовки, влажности и условий коксования. Для большинства коксующихся углей и шихт предприятий России эти факторы сводятся к плотности загрузки. На основании полужаводских и промышленных исследований зависимость давления коксования от плотности загрузки (технологии подготовки угольной шихты) описывается уравнением регрессии:

$$P = 0,000412 \gamma^2 - 0,5942 \gamma + 229,921; \quad (3.1)$$

$$R^2 = 0,9577$$

Здесь  $P$  - давление коксования, кПа;  $\gamma$  - плотность насыпной массы угольной загрузки в печной камере, кг/м<sup>3</sup> (с.в.).

Результаты расчетов представлены ниже (Рис. 3.2).



**Рис. 3.2. Зависимость давления коксования от плотности угольной загрузки шихты, подготовленной:**

1 – обычным способом; 2 – частичным брикетированием; 3 – термической обработкой; 4 – трамбованием угольного пирога (предполагаемая)

(3.1.6) Распределение давления коксования по высоте угольной загрузки в печи (по результатам анализа полупромышленных и промышленных исследований) хорошо описывается уравнением регрессии:

$$P = - 6,85 + 0,4 z + 3,24 h + 10,18 \gamma, \quad (3.2)$$

где  $P$  – давление коксования, кПа;  $z = -2$  при измерении газового давления и  $+ 1$  при измерении давления коксования;  $h$  – расстояние точки измерения от верха угольной загрузки, м;  $\gamma$  – средняя плотность насыпной массы угольной загрузки, т/м<sup>3</sup>.

Коэффициент детерминации уравнения равен 0,9965 при 8 степенях свободы. Из уравнения видно, что для расчетов конструктивной прочности обогревательных простенков коксовых печей следует использовать треугольной эпюрой нагружения.

В разделе (3.2) представлены результаты анализа разных вариантов серийности с разбиением печей на группы по уровням нескомпенсированного давления коксования слева и справа от простенка приведены в табл.3.1. Рассматривались наиболее употребительные варианты серийности: 9 - 2, 5 - 2, 2 - 1 и 4 - 2.

Таблица 3.1

Максимальное нескомпенсированное давление на отопительные простенки коксовых батарей при работе на различной серийности выдачи.

Серийность выдачи	Группа печей	Печей в группе	Расчетное давление, кПа		Нескомпенсированное давление, кПа	Время оборота, час
			правый	левый		
2 - 1	А	34	10	10	0	15
	Б	35	9	9	0	15
	А	34	9	9	0	24
	Б	35	9	9	0	24
5 - 2	А	28	11	12	1	24
	Б	14	14	12	2	
	В	27	14	11	3	
9 - 2	А	31	12	8	4	15
	Б	7	12	12	0	
	В	31	8	12	4	
4 - 2	А	17	16	9	7	15
	Б	17	12	9	3	
	В	18	9	8	1	
	Г	17	9	15	6	

Из таблицы видно, что наилучшей является серийность 2 - 1, при которой обеспечивается минимальный уровень нескомпенсированного давления на кладку и, следовательно, наименьшая подверженность ее разрушения при прочих равных условиях.

В главе (4) представлены теоретические и экспериментальные промышленные исследования огнеупорной кладки обогревательных простенков коксовых печей на прочность. Результаты многолетнего изучения автором динамики возникновения и развития дефектов кладки печей с различной высотой камер показаны в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Динамика развития дефектов огнеупорной кладки отопительных простенков  
коксовых батарей

Наименование дефектов и разрушений	Годы от начала эксплуатации для камер высотой, м, (объемом м <sup>3</sup> )			
	4 - 5 (20-30)	5,5 - 6 (30-32)	7 (41,6)	7 * (41,3)
1 Трещины на трех крайних сводовых изделиях	1-3	1-3	1-3	1-3
2 Сколы "заплечиков"	2-8	2-8	2-8	2-8
3 Первые вертикальные трещины на первых вертикалах	3-5	3-5	6-10	6-10
4 Вторые вертикальные трещины на первых вертикалах	4-8	4-8	10-15	10-15
5 Смещение кладки между трещинами	10-15	8-15	-	-
6 Трещины под загрузочными люками	10-15	7-12	3-6	5-10
7 Трещины на вторых вертикалах	16-20	10-12	2-4	2-4
8 Трещины на третьих вертикалах	20-25	15-20	12-15	12-15
9 Заужения камеры в зоне перекрытия 1, 2-го вертикалов	15-20	12-15	6-10	15
10 Разрушения кладки под вторым загрузочным люком	-	8-16	6-9	-
11 "Подрезы" нижних рядов кладки от середины камеры	-	-	6-12	9-14
12 «Подрезы» кладки от «головок»	10-15	10-15	-	-
13 Заужения камеры по всей высоте между первым и вторым вертикалами	25-30	15-20	8-15	-
14 Смещение верха простенков от продольной оси	-	-	4-10	-
15 Износ подовых плит на 1,5-2 м от торца печных камер	10-15	10-15	8-12	8-12

\*-с заземлением верха простенков в своде печей.

Типы дефектов, выделенные цветом и предопределяют ускоренное разрушение кладки большегрузных коксовых батарей.

В разделе (4.2) представлены расчеты отопительных простенков на прочность, выполненные с использованием расчетной схемы: ортотропная составная плита (с раз-

ной жесткостью под и над уровнем перевала продуктов горения) защемленная жестко с четырех сторон. Были рассчитаны поля прогибов, нормальные напряжения и поперечные силы применительно к простенку коксовой батареи с камерами объемом 41,3 м<sup>3</sup> по методике, разработанной с участием автора.

Расчеты выполнили в двух вариантах.

1. Давление коксования равно 7 кПа во всех точках камеры.
2. Давление коксования на расстоянии 0,6 м от пода камеры  $P_{0,6}$  (кПа) вычислили по расчетной насыпной плотности угольной загрузки  $\gamma$  на этом уровне. Последняя изменяется вдоль камеры по косинусоиде, максимумы которой 800 кг/м<sup>3</sup> находятся под загрузочными люками, а минимумы (700 кг/м<sup>3</sup>)- между люками, на равном расстоянии от соседних люков:

$$\gamma = 750 - 50 \cos(\pi x/5,29). \quad (4.1)$$

Здесь  $x$  - расстояние точки, для которой вычисляется плотность, от фасада машинной стороны, м;  $\gamma$  - насыпная плотность шихты в этой точке, кг/м<sup>3</sup>.

Результаты расчетов по двум вариантам существенно различаются. Так, максимальный прогиб по первому варианту составляет 125, а по второму 329 мкм. Наибольшие сжимающие напряжения, действующие в кладке простенка вдоль вертикальной оси, равны соответственно 389 и 839 кПа, а действующие вдоль горизонтальной оси 190 и 434 кПа.

Результаты расчета величин поперечных (перерезывающих) сил, действующих по горизонтальным площадкам и веса вышележащей кладки батареи с объемом камер 41,3 м<sup>3</sup> представлены на схеме 4.1.

На участках кладки, выделенных цветом, перерезывающие силы значительно превышают вес вышележащей кладки и, при величине коэффициента трения динас-динас 0,75-1,0 может привести к проскальзыванию верха простенков по своду камер.

Многолетним изучением состояния кладки батарей в процессе эксплуатации установлено, что фактическое ускоренное развитие дефектов отмечается на участках, полностью совпадающих с данными расчета.

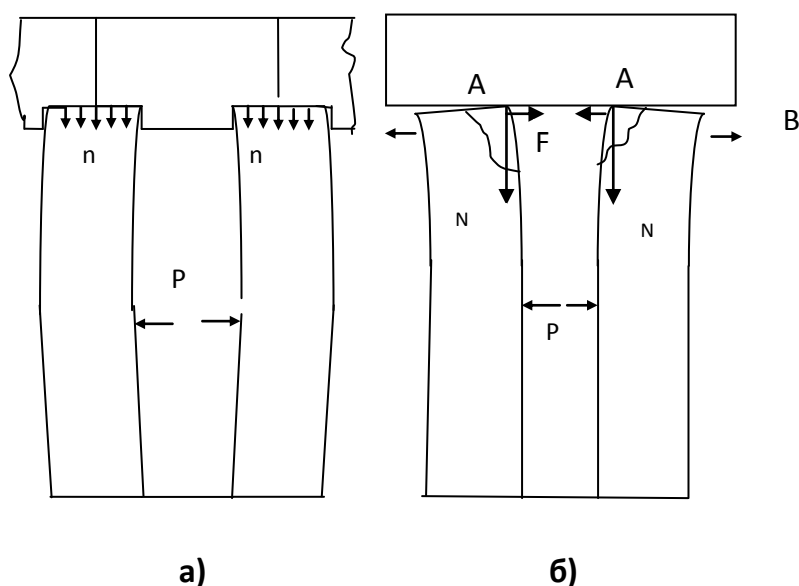
		1 люк					2 люк					3 люк							
2,4	-2,1	-18,5	-27,9	-27,2	-24,9	-27,0	-33,1	-36,4	-36,4	-33,1	-27,0	-24,9	-27,2	-27,9	-18,5	-2,1	2,4	7	21,3
8,8	-0,8	-19,3	-29,5	-27,5	-24,3	-26,5	-33,5	-37,5	-37,5	-33,5	-26,5	-24,3	-27,5	-29,5	-19,3	-0,8	8,8	6	39,4
15,6	0,3	-16,3	-24,4	-23,3	-21,2	-23,1	-28,5	-31,5	-31,5	-28,5	-23,1	-21,2	-23,3	-24,4	-16,3	0,3	15,6	5	47,4
12,4	0,5	-10,7	-15,3	-13,9	-12,2	-13,4	-17,1	-19,2	-19,2	-17,1	-13,4	-12,2	-13,9	-15,3	-10,7	0,5	12,4	4	55,4
0,8	-1,6	-3,5	-3,3	-0,6	1,1	0,9	-1,1	-2,4	-2,4	-1,1	0,9	1,1	-0,6	-3,3	-3,5	-1,6	0,8	3	63,4
-14,4	-2,0	9,6	15,7	17,5	17,4	18,5	20,6	21,4	21,4	20,6	18,5	17,4	17,5	15,7	9,6	-2,0	-14,4	2	71,3
-21,5	5,3	36,8	49,4	41,2	32,6	36,3	50,2	58,1	58,1	50,2	36,3	32,6	41,2	49,4	36,8	5,3	-21,5	1	79,3
-4,2	13,6	64,9	82,9	57,5	38,5	44,6	73,7	93	93	73,7	44,6	38,5	57,5	82,9	64,9	13,6	-4,2	0	87,3
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0	Высота от пода, м	Вес вышележащей кладки, кН/м
Длина камеры, метров																			

**Схема 4.1. Перерезывающие силы, действующие по горизонтальным площадкам кладки простенка, кН/м.**



(4.4) *Экспериментальные промышленные исследования процесса образования дефектов огнеупорной кладки.* Автором были проведены наблюдения за перемещением верхних участков кладки простенок на коксовой батарее № 9 ОАО «НТМК» с объемом печных камер  $41,3 \text{ м}^3$  и незащемленным верхом простенок. Специальным инструментом конструкции автора измеряли ширину камер под загрузочными люками. Перемещение простенок было отмечено под всеми тремя люками после загрузки смежных печей по рядам 74 (над уровнем кокса) и 78 (под сводом камеры). Величина перемещения при серийности 2–1 составила 5–10 мм (в среднем 7 мм).

(4.5) *Механизм образования и ускоренного развития дефектов основного массива огнеупорной кладки большегрузных коксовых батарей.* В результате анализа данных о прочности простенок, полученных при проведении расчетных и промышленных экспериментов установлено, что участки простенок в зависимости от соотношения величин горизонтальных перерезывающих сил и веса вышележащей кладки, а также наличия или отсутствия защемления верха простенка в своде печи могут работать по схемам нагружения «балка, защемленная с двух сторон» (Рис.4.2.а) или «балка, защемленная с одного конца» (консоль) (Рис. 4.2.б).



**Рис. 4.2** Схемы нагружения простенок:

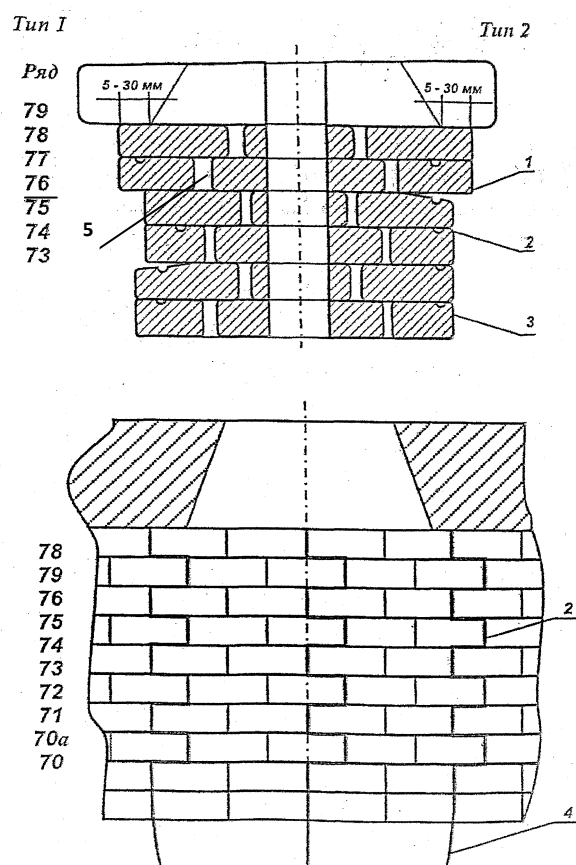
а)-«балка, защемленная с двух сторон»; б)-«балка, защемленная с одного конца» (консоль).

При работе простенка по схеме «балка, защемленная с двух сторон» (Рис. 4.2.а) (защемление верха простенка обеспечивается Т-образными сводовыми изделиями) максимальный прогиб наблюдается в середине пролета, а у торцов балки – исчезающе мал. В этом случае появление и скорость развития дефектов основного массива кладки простенков зависит, в основном, от величины вертикальных растягивающих напряжений обусловленных действием давления коксования. При работе простенка по схеме нагружения «консоль» (Рис. 4.б) (плоские сводовые изделия) максимальный его прогиб смещается от середины высоты на верхний край и при всех прочих равных условиях увеличивается в 9,6 раза. Также при «консольной» схеме работы простенка появляются и новые, ранее никем ранее не учитывавшиеся локальные горизонтальные растягивающие и вертикальные срезающие напряжения в верхних рядах кладки. Предложенный автором механизм их возникновения схематично представлен на рис. 4.2.б. Из рисунка видно, что под действием нескомпенсированного давления коксования (Р) простенки прогибаются и перемещаются по своду печи в направлениях, обозначенных стрелками. Так как ширина простенков большегрузных батарей составляет 850-990 мм, то при прогибе точка «А» будет подниматься относительно исходного положения, а точка «В» опускаться.

В этом случае: (1) свод печи переместится вверх от исходного положения в точке А; (2) вес вышележащей кладки N будет сконцентрирован на ребрах стеновых изделий в районе точки «А». При этом возникают локальные горизонтальные растягивающие напряжения от действия сил трения F и вертикальные срезающие напряжения от веса вышележащей кладки, которые неизбежно ведут к сколам ребер верхних рядов стеновых изделий, а в дальнейшем и к разрушению собственно изделий; (3) между сводом печи и краем простенка в точке «В» образуется зазор, который будет заполняться пироуглеродом. При загрузке соседних печей простенки прогибаются в противоположную сторону, при этом нагрузки и локальные напряжения сосредоточатся в районе точки «В», а зазоры появятся у точки «А». При заполненном пироуглеродом зазоре «В» высота простенка увеличивается на величину зазора, что, при многократном повторении циклов «загрузка-выдача», приводит к вспучиванию сводов (фактически наблюдается); (4) кроме того, под действием сил трения F также происходит (Рис.4.3) «расшатывание» верхней части простенков, раскрытие вертикальных ма-

териальных швов, разрушение шпунтовых соединений с последующим обрушением отколовшихся кусков огнеупора, появление «раковин» различной глубины и площади, образование так называемой «штробы» и трещин от свода по направлению к поду камеры. Особенно это проявляется в районе среднего загрузочного люка, в зоне действия наибольших перерезывающих сил и наибольших прогибов простенков относительно продольной и поперечной осей.

Автором была выдвинута гипотеза о том, что ускоренное разрушение кладки простенков большегрузных коксовых батарей вызвано действием именно локальных, ранее никем не учитывавшихся, растягивающих и срезающих напряжений.



**Рис. 4.3. Характеристика разрушений кладки под вторым люком коксовой батареи с объемом камер  $41,3 \text{ м}^3$ :**

1 – сколы ребер изделий; 2 – «штробы»; 3 – лопнувший кирпич; 4 – трещины; 5 – расхождение вертикальных материальных швов.

В главе (5) исследовано влияние некоторых конструктивных и технологических факторов на срок эксплуатации и динамику изменения производственной мощности коксовых батарей различных типов. Попытки прогнозирования надежности коксовых батарей предпринимались ранее неоднократно. Упрощенный вариант такого расчета предложил в свое время Б.С.Филиппов, который в качестве критериев оценки взял габаритные размеры печных камер и период коксования, а в качестве объекта для сравнения предложил печную камеру объемом  $21,6 \text{ м}^3$ . В этих расчетах кладка печи рассматривалась как целое, без деления на зоны, скорость развития дефектов кладки которых зависит от действия не одних и тех же технологических факторов, что снижало точность прогноза. На основании данных, полученных в результате теоретических и промышленных исследований огнеупорной кладки обогревательных простенков коксовых печей на прочность (Глава 4) с участием автора была разработана иная методика прогнозного расчета изменения производственной мощности коксовых батарей в процессе эксплуатации при схеме нагружения простенков «балка, заземленная с двух сторон». За эталон при прогнозировании также выбрана наиболее надежная и хорошо изученная в эксплуатации коксовая батарея системы ПК-2к с камерами, имеющими полезный объем  $21,6 \text{ м}^3$ . Более чем 50-летний опыт эксплуатации этих батарей показывает, что возможна их работа с проектной производительностью (время оборота печей 14,5 ч): (1) по состоянию кладки «головочных» участков отопительных простенков - в течение 20 лет. Можно считать, что через 35 лет после начала эксплуатации при отсутствии капитальных ремонтов «головочных» вертикалов в батарее остается менее 20 – 25 % действующих печей и ее необходимо останавливать; (2) по состоянию основного массива кладки простенков - в течение 50 лет; (3) огнеупорная кладка зон косых ходов и регенераторов коксовых батарей всех типоразмеров работает примерно в одинаковых условиях и сохраняет работоспособность в течение ~ 50 лет. Следует ожидать, что при дальнейшей эксплуатации дефекты в этих зонах будут вызывать ежегодное снижение производительности батарей на ~ 2% .

В качестве действующих факторов были выбраны и рассмотрены следующие:

(1) конструктивные – величина вертикальных и горизонтальных растягивающих напряжений и перерезывающих сил в кладке простенков (в соответствии с результатами

расчетов главы 4), ширина камер коксования; (2) технологические – оборот печей, определяющий как количество циклов знакопеременных нагрузок на кладку простенков в единицу времени, так и уровень температуры, следовательно, и прочностные характеристики кладки.

(5.2) *Прогнозный расчет зависимости изменения производственной мощности коксовых батарей от действия некоторых конструктивных и технологических факторов.*

Следует ожидать, что в момент  $t$  скорость выхода из строя коксовых камер батареи ( $-dN/dt$  при числе действующих печей  $N$ ) пропорциональна числу действующих камер  $N$ , максимальному растягивающему напряжению в их кладке ( $\sigma$ ) и длительности эксплуатации  $t$ , возведенной в некоторую степень ( $n-1$ ):

$$-\frac{dN}{dt} = KnN\delta t^{n-1}, \quad (5.1)$$

где произведение  $K \cdot n$  – коэффициент пропорциональности.

При  $n < 0$  и  $t \geq 0$  это дифференциальное уравнение не имеет физического смысла.

Если  $n > 0$  и при  $t = 0$ ,  $N = N_0$ , то методом разделения переменных находим:

$$N = N_0 \exp(-K t^n \delta). \quad (5.2)$$

Для оценки величины показателя степени  $n$  в уравнении (5.2) введем новый масштаб времени:  $\tau = t^n \sqrt[n]{K\delta}$ , тогда:

$$N = N_0 \exp(-\tau^n) \quad (5.3)$$

Анализ этого уравнения приводит к выводу, что  $\tau$  – безразмерная величина.

Расчеты динамики производительности коксовой батареи, исходя из уравнения (5.3) показали, что  $n \approx 9$ . При  $\tau \approx 0,6$  производительность батареи снижается на  $\sim 1\%$ ; этой величиной можно пренебречь, но при больших значениях  $\tau$  уменьшением производительности пренебречь нельзя. Поэтому можно принять, что при выводе печей из эксплуатации по состоянию «головок» значению  $\tau \approx 0,6$  соответствует продолжительность эксплуатации батареи коксовых печей системы ПК-2к  $t \approx 20$  (лет). При  $\tau \approx 1,05$  производительность батареи составляет  $\sim 21\%$  от исходной; то есть, можно принять, что значению  $\tau = 1,05$  соответствует  $t \approx 35$  (лет).

Из изложенного выше следует, что срок службы батареи, в течение которого повреждение кладки печей еще не влияют на возможность выдачи коксового пирога, связан с величиной  $\sigma$  соотношением

$$t = \frac{0.6}{\sqrt[9]{K\delta}} \quad (5.4)$$

Результаты расчетов динамики производительности коксовых батарей различных типов при работе на проектном обороте по состоянию головочных участков простенок представлены в табл. 5.1, а по состоянию основного массива простенок в табл. 5.2.

Таблица 5.1

Динамика производительности различных коксовых батарей по состоянию головочных участков простенок

Годы эксплуатации	Производительность батарей с объемом камер, м <sup>3</sup> , % от проекта					
	<b>21,6</b>	<b>30,0</b>	<b>30,3</b>	<b>30,9</b>	<b>41,6</b>	<b>51</b>
15	100	100	99	99	<b>98</b>	100
20	99	100	<b>91</b>	<b>84</b>	<b>78</b>	100
25	<b>93</b>	<b>73</b>	<b>48</b>	<b>27</b>	<b>16</b>	99
30	<b>68</b>	<b>20</b>				<b>94</b>

Таблица 5.2

Динамика производительности различных коксовых батарей по состоянию основного массива кладки простенок

Годы эксплуатации	Производительность батарей с объемом камер, м <sup>3</sup> , % от проекта					
	<b>21,6</b>	<b>30,0</b>	<b>30,3</b>	<b>30,9</b>	<b>41,6</b>	<b>51</b>
45	100	100	99	99	99	99
50	99	99	98	97	97	97

Из курса сопротивления материалов известно, что под действием одинаковых нагрузок напряжения в консольной балке в 4 раза больше, чем в двухопорной. В табл. 5.3 представлены результаты расчета динамики производительности различных коксовых

батарей по состоянию основного массива простенков только от действия вертикальных растягивающих напряжений при схеме нагружения «консоль».

Таблица 5.3

Динамика производительности различных коксовых батарей по состоянию основного массива кладки простенков от действия только вертикальных растягивающих напряжений при схеме нагружения «консоль»

Годы эксплуатации	Производительность батарей с объемом камер, м <sup>3</sup> , % от проекта					
	<b>21,6</b>	<b>30,0</b>	<b>30,3</b>	<b>30,9</b>	<b>41,6</b>	<b>51</b>
40	100	99	99	99	98	99
45	99	98	97	96	95	97
50	96	94	92	89	87	92

Из таблиц 5.2 и 5.3 видно, что увеличение вертикальных растягивающих напряжений в 4 раза незначительно влияет на производительность батарей во времени.

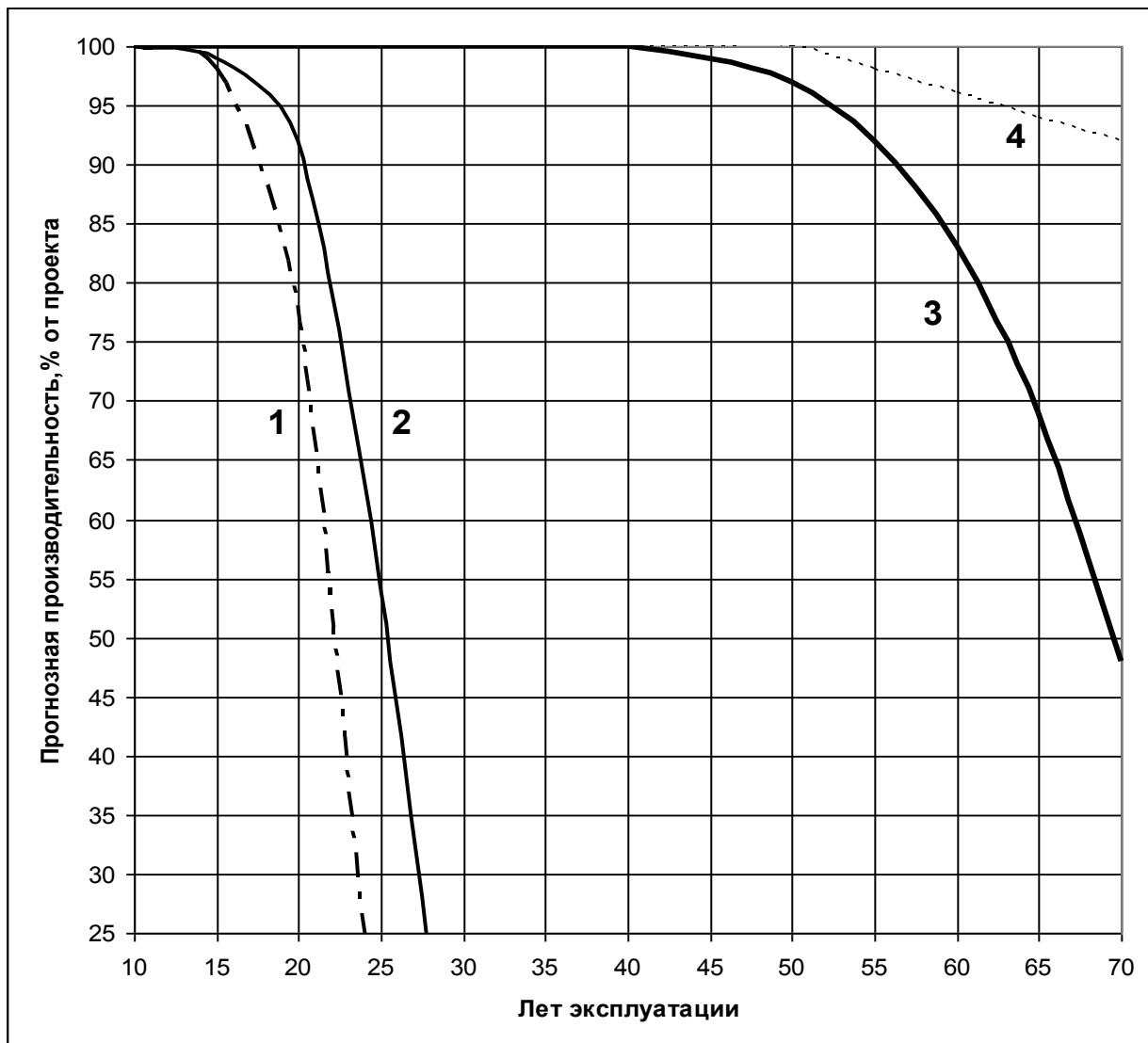
Вместе с тем, многолетними исследованиями установлено, что фактический срок эксплуатации батарей до начала проведения крупных капитальных ремонтов в условиях России составляет для печей с объемом камер, м<sup>3</sup>:

**30** - 19-26 лет; **30,3** - 20-26 лет; **30,9** - 7-19 лет; **41,6** - 12-22 года.

Тогда средний коэффициент скорости развития дефектов основного массива кладки от действия локальных растягивающих и срезающих напряжений составит, для печей объемом, м<sup>3</sup>: **30**- 2,2; **30,3** – 1,95; **30,9** – 3,4; **41,6** – 2,6.

Таким образом, подтверждена гипотеза автора о преобладающем влиянии на скорость развития дефектов основного массива кладки простенков локальных горизонтальных растягивающих и вертикальных срезающих напряжений, возникающих в верхних рядах кладки при работе по схеме нагружения «консоль». На рис.5.1 представлены результаты расчета прогнозной производительности в процессе эксплуатации коксовой батареи с объемом камер 41,6 м<sup>3</sup> при работе с оборотом печей 15 часов по состоянию различных зон кладки. Анализ рисунка позволяет утверждать, что для обеспечения срока эксплуатации таких батарей до 35-40 лет при схеме нагружения «балка, защемленная с двух сторон» потребуется проведение капитальных ремонтов только

кладки головочных участков простенок. В случае нагружения по схеме «консоль» - неизбежна перекладка простенков полностью.

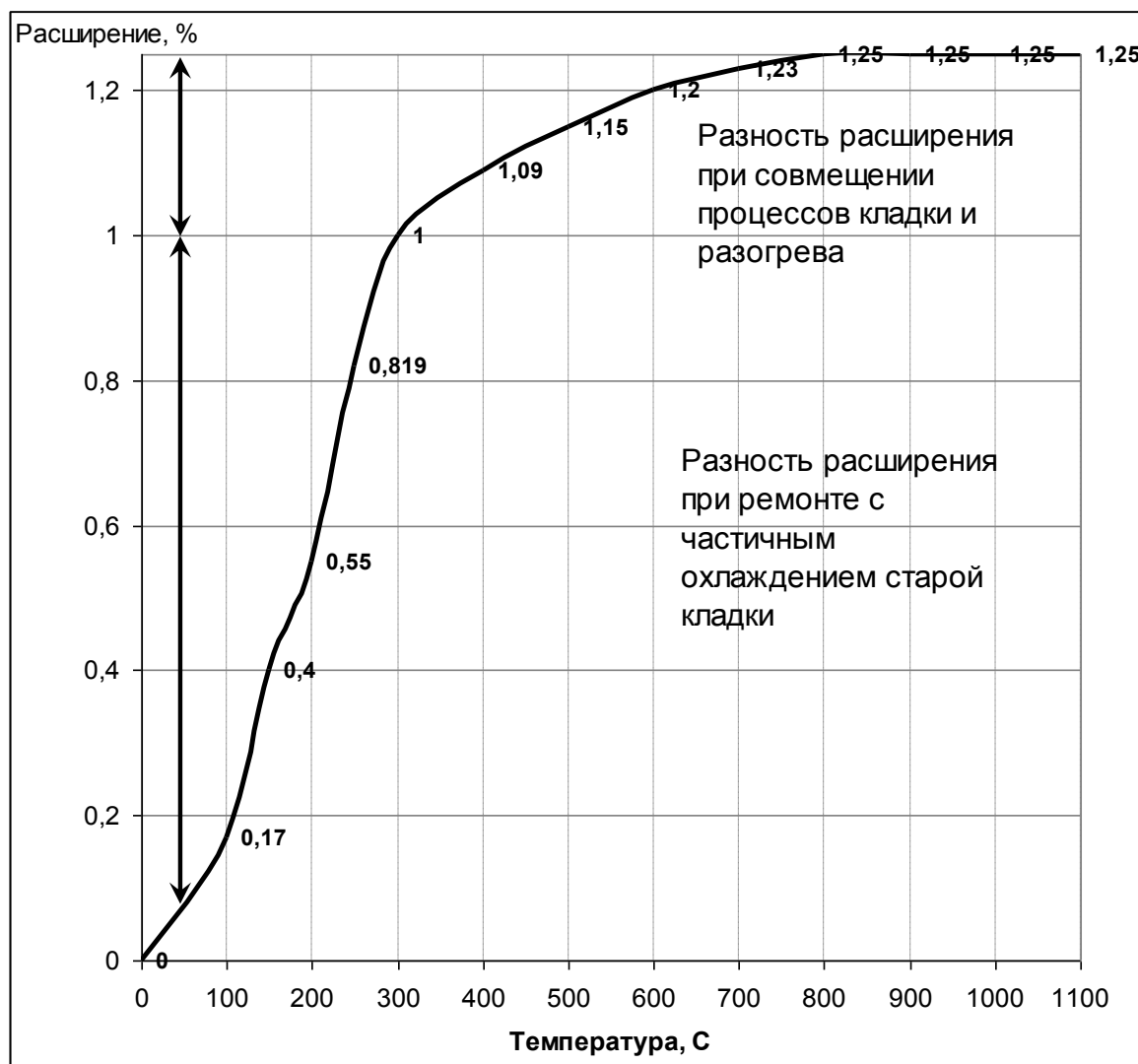


**Рис 5.1** Прогнозная производительность батареи с объемом камер  $41,6 \text{ м}^3$  в процессе эксплуатации по состоянию: 1- головочных участков кладки; 2 – основного массива кладки простенков по схеме нагружения «консоль»; 3 – основного массива кладки простенков по схеме нагружения «балка, защемленная с двух сторон»; 4 – кладки зон косых ходов и регенераторов.

В главе (6) представлен материал по ремонтам огнеупорной кладки коксовых батарей. Традиционно капитальные ремонты (перекладки) простенков коксовых батарей произ-



водятся с полным или частичным охлаждением смежных участков кладки. Характерной особенностью динаса является значительное обратимое термическое расширение в интервале температуры 100-800°C (особенно в интервале 100-300°C) и практически нулевое расширение при более высокой температуре (Рис. 6.1).



**Рис. 6.1. Кривая обратимого термического расширения динаса**

По этой причине охлаждение неизбежно приводит к возникновению дополнительных дефектов огнеупорной кладки простенков, смежных с ремонтируемыми. «Горячая» перекладка, без отключения смежных простенков от обогрева, была впервые успешно осуществлена на ОАО «Алтай-кокс». Простенок делили на три участка, которые перекладывались в три приема. С участием автора эта технология была усовершенствована, что позволило проводить перекладку простенков за один прием и исключить

нарушения геометрии камер на стыках ремонтных участков. На многих коксовых батареях со сроком эксплуатации 12-20 лет основные дефекты, препятствующие выдаче коксового пирога, сосредоточены на кладке 1-3 вертикалов от фасадов при вполне работоспособном состоянии основного массива кладки простенок, кладки зон косых ходов и регенераторов. Традиционно такой ремонт проводится с отключением от обогрева и частичным охлаждением кладки ремонтируемого и смежных полупростенок, при этом температура в их вертикалах составляет 300-400 °С, а в крайнем оставляемом вертикале ремонтируемого простенка – 200-300 °С. При этих условиях температура новой кладки близка к температуре наружного воздуха. После замены кладки и разогрева переложенного участка на всех типах батарей наблюдался один и тот же дефект – разрушение изделий, заложенных в «штробу» со старой кладкой, вертикальное смещение новой кладки относительно старой и образование сплошного вертикального шва на их стыке. Средний срок эксплуатации простенок высотой 4,3-5 м после ремонта не превышал 5-7 лет, а на печах высотой 7 м такой ремонт осуществить не удалось вследствие разрушения изделий на стыке уже в начальной стадии процесса разогрева. При анализе кривой температурного расширения динаса (Рис.6.1) установлено, что в этом случае разница величин остаточного расширения старого и нового динаса при разогреве от исходного состояния до рабочих температур составляет 0,8-1%, что и предопределяет вертикальное смещение новой кладки относительно старой на 40-70 мм в зависимости от высоты ремонтируемого простенка.

Для обеспечения проектной перевязки изделий на стыке кладок разность остаточного термического расширения их должна быть минимальной. Это достигается двумя путями: (1) полным охлаждением оставляемой кладки с неизбежным в этом случае увеличением ее дефектов вследствие модификационных превращений кремнезема; (2) способом, предложенным автором - совмещением процессов укладки и частичного разогрева динасовых изделий так, чтобы следующий ряд укладывался уже на частично разогретый, т.е. расширившийся предыдущий слой. При анализе формы кривой температурного расширения динаса становится ясно, что частичный разогрев следует вести до температуры не менее чем 300 °С, при этом разница остаточного расширения старой и новой кладки составит не более 0,25 %, что позволит избежать разрушения «штробы» на стыке.

( 6.5.3) *Теоретическое обоснование технологии горячей перекладки головочной части обогревательных простенков.* Методом математического моделирования исследована динамика прогрева огнеупорной кладки головочных вертикалов коксовых печей при горячем ремонте. На рис.6.2 схематически в проекции на плоскости чертежа представлен участок кладки на стыке - непереключаемая часть (заштрихована) и переключаемая часть (не заштрихована).

Расчеты состояли в решении численным методом сеток дифференциального уравнения прогрева 3-мерной однородной призматической плиты:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (6.1)$$

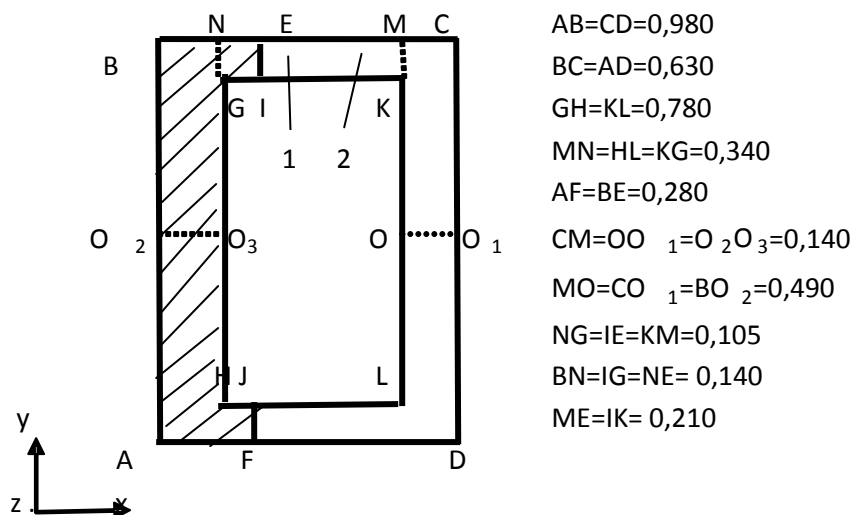
где  $T$  – температура материала плиты в момент  $\tau$  в точке с координатами  $(x, y, z)$ ,

$\alpha = \lambda / c\gamma$  - температуропроводность материала плиты,

$\lambda$  - теплопроводность материала,

$c$  - теплоемкость материала,

$\gamma$  - плотность материала.



**Рис. 6.2.** Схема для расчета прогрева кладки

Оси координат показаны на том же рисунке. Ось  $z$  направлена вверх от плоскости чертежа. По результатам эксперимента, при доверительной вероятности 0,95 значимым оказалось влияние на температуру новой кладки на стыке ( $T_1$ ) начальной температуры старой кладки  $T_{c.k.}$  и длительности прогрева  $t$ . Эта зависимость описывается уравнением:

$$T_1 = 66,0 + 0,397T_{c.k.} + 167,7t - 28,3t^2; \quad (6.2)$$

Следовательно, при поддержании в стыковом вертикале температуры 800-850 °С начальная температуры старой кладки составит  $\sim 375$  °С, новая кладка нагреется в рассматриваемой точке до  $\sim 300$ °С за время 1,0-1,5 ч., что представляется удовлетворительным, как для соблюдения заданного темпа ремонта так и для обеспечения целостности проектного стыка между оставляемой и переложённой кладкой.

Промышленный эксперимент по горячей перекладке простенков батарей с высотой печей 7 м на глубину 4-6 вертикалов, выполненный под руководством автора в начале 1999 г. на меткомбинатах «Нова Гуть» (Чехия), «VSP», «BSP» (Индия), завершился успешно. Более чем десятилетнее изучение состояния отремонтированных участков показали, что скорость развития дефектов заменённой кладки практически полностью соответствует таковой для батарей с аналогичным сроком эксплуатации. Это позволяет сделать вывод, что стойкость выполненного ремонта составит, как минимум, 15-17 лет. Сопоставительный анализ "холодной" и "горячей" перекладки отопительных простенков на глубину 4-6 вертикалов приведен в таблице 6.1

Таблица 6.1

Холодная перекладка	Горячая перекладка
1	2
1. Отключение обогрева и охлаждение до температуры ниже 300 <sup>0</sup> С на всю глубину ремонта полупростенков: -ремонтируемый - 1 -смежные - 2	Температура в вертикалах смежных полупростенков и непереключаемых вертикалах ремонтируемого простенка поддерживается на уровне 850-900 <sup>0</sup> С.
2. Происходит дополнительное разрушение кладки стен камер коксования, зон косых ходов и регенераторов при охлаждении трех полупростенков	Не происходит охлаждения и дополнительного разрушения кладки трех полупростенков, зон косых ходов и регенераторов
3. В камерах устанавливаются глухие кирпичные перемычки, отсекающие зону ремонта, что наряду с низкой температурой смежных участков простенков препятствует частичному разогреву и расширению новой кладки	В камерах через соответствующие загрузочные люки устанавливаются вертикальные экраны, позволяющие вентилировать ремонтную зону за счет открывания крышек стояков и загрузочных люков
4. Разогрев охлажденных полупростенков ведется теплопередачей от соседних полупростенков, причем оставляемых с уровня 300 <sup>0</sup> С, переложеного практически с уровня температуры окружающей среды, что предопределяет значительную разницу их расширения при нагреве до рабочих температур. Это приводит к невозможности выполнения проектной перевязки кирпичей на стыке кладок, ускоренному разрушению этого участка.	Частичный разогрев и рост кладки происходит в процессе ее выполнения, особенно на стыке оставляемой и новой кладки (при устройстве проектной перевязки изделий) Следующий ряд укладывается на расширившийся предыдущий ряд. Незначительный рост кладки при окончательном разогреве не приводит к появлению разрушений, в том числе и на стыке старой и новой кладки
5 Длительность разогрева 10-12 суток Продолжительность службы отремонтированных простенков 5-7 лет	Длительность разогрева 2-3 суток Продолжительность службы отремонтированных простенков 15-17 лет

Технология горячего ремонта с совмещением процессов кладки и частичного разогрева позволило также выполнить перекладку зоны перекрытия вертикалов основного массива и головочных участков простенков с установкой Т-образных сводовых изделий (коксовая батарея № 9 ОАО «НТМК», 2003 г.) с целью изменения схемы нагружения простенков от «консоли» к «балке, заземленной с двух сторон».

Таблица 7.1.

Выполненный объем горячих перекладок отопительных простенков  
батарей различных конструкций

№	Страна	Предприятие	№№ ба- тарей	Годы прове- дения пере- кладки	Количество перело- женных простенков	
					Полно- стью	Частич- но
<b>Коксовые батареи с высотой камер 7 м</b>						
1	Россия	ОАО "Алтай-кокс" (г. Заринск)	1, 2, 3, 4	1993-2008	119	
2	Россия	ОАО "Кокс" (г. Кемерово)	5	1998-2004	64	
3	Россия	ЗАО "РМК" (г. Магнитогорск)	7, 8	2002-2009	62	
4	Россия	ОАО "НТМК" (г. Н- Тагил)	9	2003-2008	5	85
5	Индия	Бхилайский метком- бинат	9	2001-2002		63
6	Индия	Визакхапатнамский меткомбинат	1, 3	2001-2005	66	96
7	Чехия	Метзавод "Нова Гуть" (г. Острава)	11	1999, 2001-2006		51
<b>Коксовые батареи с высотой камер 5 – 5,5 м</b>						
8	Турция	Искендерунский мет- комбинат	1, 2, 3, 4	2004-2006	67	58
9	Россия	ОАО "Северсталь" (г. Череповец)	8,9,10	2005-2009	33	66
<b>Коксовые батареи с высотой камер 4,3 м</b>						
10	Китай	Джиугуанский мет- комбинат	1, 2	2004-2007	22	41
<b>Итого</b>					<b>438</b>	<b>460</b>

В главе (7) представлены масштабы внедрения и эффективность разработанных технологий горячей перекладки простенков. В части горячей перекладки простенков полностью или частично на 21 коксовых батареях в России и за рубежом объем выполненных работ по состоянию на август 2009 г. представлен в таблице 7.1.

(7.1) *Сведения об экономическом и экологическом эффектах.* Экономический эффект от внедрения технологии ремонта с полной перекладкой отопительных простенков составил на коксовых батареях: № 2 ОАО «Алтай-кокс» 0,711 млрд. руб., № 5 ОАО «Кокс» 2,868 млрд. руб., №№ 7,8 ЗАО «Русская металлургическая компания» 1,398 млрд. руб. Экономический эффект по зарубежным предприятиям - 0,151 млрд. руб.

Экономический эффект от внедрения технологий ремонта верхней части отопительных простенков под средним загрузочным и газовыми люками на коксовой батарее № 9 ОАО «НТМК» по разработкам автора составляет 0,509 млрд. руб. По всем другим технологиям участие автора составляет ~20%, то есть с суммарным эффектом около 1,5 млрд. руб.

Экологический эффект в результате ремонта коксовой батареи № 5 ОАО «Кокс» выражается в снижении выбросов с 6,0 до 1,4 кг/т., то есть более чем в 4 раза.

Суммарный экономический эффект от внедрения новых технологий на предприятиях России и за рубежом составил 5,64 млрд. руб.

В главе (8) представлены принципиальные положения по проектированию новых, реконструкции и капитальному ремонту действующих коксовых батарей. С учетом недостаточно благоприятной перспективы развития угольной сырьевой базы коксования России, вряд ли возможно существенное увеличение габаритных размеров печных камер при новом строительстве и реконструкции старых изношенных коксовых батарей. При проектировании новых и реконструкции изношенных коксовых батарей потребуется решение некоторых старых и возникших новых конструктивных, технологических и экологических проблем: (1) повысить прочность и конструктивную надежность кладки печей путем применения изделий из динаса улучшенного качества для основного массива отопительных простенков и кремнеземистых изделий повышенной термостойкости для кладки крайних вертикалов, а также применение огнеупорных мертелей улучшенного качества; (2) обеспечить более высокую жесткость

анкерных колонн и увеличить суммарную нагрузку от внутренних пружин на каждую колонну до 25 тонн, а верхних и нижних поперечных стяжек соответственно до 10-18 тонн; (3) применять для кладки головочной части простенков огнеупорные изделия с пазами для повышения термостойкости и предотвращения обвалов кокса; (4) в обязательном порядке предусматривать заземление верха простенков в своде печей; (5) предусматривать двойное соединение «шпунт-паз» в изделиях для кладки зоны перекрытия вертикалов.

### Выводы

1. На основании анализа действующего коксового печного фонда России выявлены причины его неудовлетворительного состояния, предложены направления продления срока службы батарей до 35-40 лет за счет оптимизации технологии коксования и проведения эффективных профилактических и капитальных ремонтов. В результате комплекса работ сформулированы научные основы воздействия технологических параметров на кладку и разработаны современные способы ремонтов.

2. Рассмотрены основные проблемы, определяющие сохранность коксового печного фонда: (1) состояние угольной сырьевой базы коксования и способы подготовки шихты; (2) - фактической величины давления коксования в промышленных печах (15-30 *кПа*) значительно превышающей принимаемую в расчетах конструкции отопительных простенков батарей (7-10 *кПа*); (3) серийности выдачи-загрузки печей. Наиболее эффективной для сохранности кладки является серийность **2 – 1**.

3. Проведены теоретические и промышленные исследования, обоснован механизм возникновения дефектов и разрушений огнеупорной кладки отопительных простенков коксовых батарей, в том числе и по схеме нагружения «консоль». Показано, что для повышения срока эксплуатации основного массива кладки действующих большегрузных батарей необходимо производить перекладку зоны перекрытия вертикалов и печей с установкой Т-образных сводовых изделий. Для всех типов вновь строящихся и реконструируемых батарей проектным организациям также предусмотреть обязательную установку Т-образных сводовых изделий.

4. Разработана методика прогнозного расчета изменения производственной мощности коксовых батарей в процессе эксплуатации. Показано, что при схеме нагружения



простенка «балка, заземленная с двух сторон» скорость развития дефектов основного массива кладки позволяет эксплуатировать с проектной производительностью все типы батарей в течение 35-40 лет без капитального ремонта. Также показано, что срок эксплуатации головочных участков кладки не превышает 15-20 лет, после чего необходимо проведение соответствующих ремонтов.

5. В результате выполненных теоретических и промышленных экспериментов автором разработана и внедрена технология горячего ремонта головочных участков простенков любой высоты с совмещением процессов укладки и частичного разогрева динасовых изделий, что позволило увеличить срок эксплуатации соответствующих печей до 15-17 лет, вместо 5-7 лет при применении традиционной технологии. Показана сравнительная эффективность проведения «горячих» и «холодных» ремонтов.

6. Разработаны принципиальные положения по проектированию новых, реконструкции и капитальному ремонту старых коксовых батарей, которые могут быть использованы проектными организациями и предприятиями для принятия необходимых мер по повышению надежности и увеличению продолжительности срока эксплуатации коксового печного фонда, в том числе: повышение жесткости простенков за счет увеличения их ширины, увеличение нагрузок на анкерные колонны до 20-25 т, увеличение толщины перекрытия печей до 1,5 м, обязательной установки Т-образных сводовых изделий, изделий зоны перекрытия вертикалов с двойным соединением «шпунт-паз», головочных изделий с «пазами», применение серийности 2-1 при загрузке и выдаче печей.

7. Общий достигнутый экономический эффект от внедрения разработок по горячей перекладке простенков составляет 5,64 млрд. руб. Суммарный экономический эффект, приходящийся на долю автора – 1.5 млрд. руб. Экологический эффект заключается в снижении выбросов вредных веществ в атмосферу с 6 до 1,4 кг/т кокса.

**Основное содержание диссертации представлено в следующих публикациях:**

1. Сухоруков В.И., Швецов В.И. Состояние печного фонда и перспективы производства кокса в России.// Кокс и химия . 2002. № 5. С. 11-21.
2. Сухоруков В.И., Швецов В.И. Состояние коксового печного фонда стран СНГ.// Кокс и химия. 2003.№ 1. С. 36-45.
3. Чемарда Н.А., Швецов В.И., Сухоруков В.И. Состояние, перспективы и сохранность коксового печного фонда России// Кокс и химия. 2003. № 3. С.18-24.
4. Копелиович Л.В., Сухоруков В.И., Стахеев С.Г., Швецов В.И. Расчет напряжений в огнеупорной кладке обогревательного простенка коксовой батареи с учетом фактически действующих нагрузок. //Кокс и химия.2004. № 4. С. 12-16.
5. Сухоруков В.И., Швецов В.И. Школа-семинар специалистов коксового производства. //Кокс и химия. 2005.№ 3.С. 40-47.
6. Сухоруков В.И., Копелиович Л.В., Швецов В.И. О конструктивной устойчивости коксовых печей разной высоты. //Кокс и химия. 2006. № 10. С. 9-12.
7. Сухоруков В.И., Швецов В.И., Стахеев С.Г. Основные проблемы сохранности коксового печного фонда. //Кокс и химия. 2006. № 3. С.26-36.
8. Сухоруков В.И., Швецов В.И. Современные методы обеспечения сохранности коксового печного фонда// Кокс и химия. 2007.№ 3.С.37-47.
9. Швецов В.И., Сухоруков В.И. Перспективы обеспечения сохранности коксового печного фонда// Кокс и химия. 2008. № 1. С.16-25.
10. Швецов В.И., Копелиович Л.В., Сухоруков В.И. Влияние некоторых конструктивных и технологических факторов на продолжительность эксплуатации коксовых батарей// Кокс и химия.2009. № 6. С. 21-27.
11. Швецов В.И., Сухоруков В.И. Проблемы эксплуатации и сохранности коксового печного фонда в условиях экономического кризиса. 2. Техническое и информационное обслуживание предприятий // Кокс и химия. 2010. № 2. С. 7-16.
12. Швецов В.И., Сухоруков В.И. Опыт эксплуатации современных коксовых батарей и обеспечение сохранности коксового печного фонда. 1. Проблемы эксплуатации и сохранности коксового печного фонда //Кокс и химия.2011.№ 1.С.9-18.

13.V.I. Sukhorukov, V.I.Shvetsov. Operational Experience with Coke Batteries and Preservation of Existing Coke Furnaces. 2.Maintenance and Information Services//ISSN 1068-364X, Coke and Chemistry. 2011.Vol.54. № 5. pp. 157-164.

14. Сухоруков В.И., Швецов В.И., Чемарда Н.А. Ремонт кладки и армирующего оборудования коксовых батарей. Екатеринбург. 2004. -С. 482.