

**Панов В.В., Науменко В.Д., Баранов В.И.**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ**

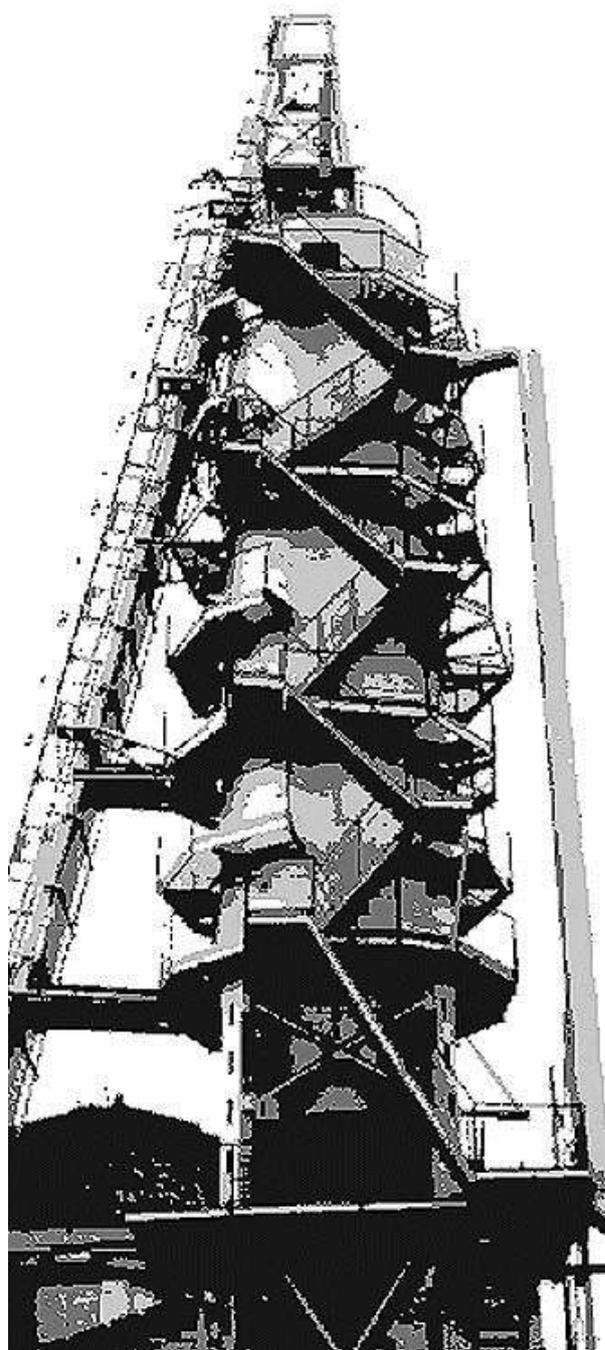
**РАБОТЫ**

**ИЗВЕСТКОВОГО**

**ОТДЕЛЕНИЯ**

**САХАРНОГО**

**ЗАВОДА**



**Киев 2004**

Министерство образования и науки Украины  
Национальный университет пищевых технологий  
**Институт последипломного образования**

**Панов В.В., Науменко В.Д., Баранов В.И.**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ  
ИЗВЕСТКОВОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
САХАРНЫХ ЗАВОДОВ**

**Киев 2004**

**УДК 664.1:658**

Рецензент: Штангеев К.О., к.т.н., ст. н. с., зав. отделом УкрНИИСП.

**Совершенствование работы известкового отделения сахарных заводов / В.В. Панов, В.Д. Науменко, В.И. Баранов. – К.: 2004. – 76 с.**

В работе рассмотрены свойства известняка, топлива, извести и печного газа, а также сформулированы требования, предъявляемые к их качеству. Изложены теплотехнические основы процесса получения извести. Рассмотрена работа печей и указаны пути повышения их технико-экономических показателей. Приведена информация о новом оборудовании и узлах известкового отделения, разработанных и внедренных в производство фирмой ООО «Цукровик» и лабораторией известкового газового хозяйства Украинского научно-исследовательского института сахарной промышленности (УкрНИИСП). Предложена и подробно рассмотрена новая концепция определения дозы топлива в шихте, базирующаяся на максимальном выходе из известкового отделения активной технологической извести. Подробно рассмотрены режимы работы печи, обеспечивающие минимальную исходную загрязненность известкового молока твердыми примесями после аппаратов гашения. Рассмотрены вопросы приготовления и очистки известкового молока. Дан разбор производственных ситуаций возникающих как на печах, так и на оборудовании по приготовлению и очистке известкового молока. Намечены пути дальнейшего развития известковых отделений. Даны примеры расчетов основных показателей работы известкового отделения.

Таблиц – 16. Иллюстраций – 17. Библиография – 18 названий.

**Авторы:** В.В. Панов, к.т.н., ст.н.с., В.Д. Науменко,  
В.И. Баранов., к.т.н., доц.

Редактор: Н.Я.Костина

© В.В. Панов, В.Д. Науменко, В.И. Баранов, 2004

© ИПДО НУПТ, 2004

# 1. Сырье и продукты обжига известняка

## 1.1. Известняк

Требования к известнякам, которые используются в сахарной промышленности Украины, регламентированы ДСТУ 1451-96 "Камень известняковый для сахарной промышленности. Технические условия". В соответствии с этим стандартом известняк должен иметь следующий химический состав:  $\text{CaCO}_3$  – не менее 93 %;  $\text{MgCO}_3$  – до 2,5 %; ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) – до 1,5 %;  $\text{CaSO}_4$  – до 0,4 %;  $\text{SiO}_2$  – до 3 %;  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – до 0,25 %. Массовая доля посторонних примесей (глина и другие) – до 3 %; насыпная плотность от 1300 до 1500 кг/м<sup>3</sup>.

Следует отметить, что ДСТУ 1451-96 значительно отличается в худшую сторону от европейских стандартов. Сравнение основных требований к известняку, используемому в свеклосахарном производстве, в Украине и странах ЕС представлено в табл.1.1.

Таблица 1.1

№ n/n	Наименование показателя	Единица измерения	Значение параметра	
			ДСТУ 1451-96	Стандарты ЕС
1	Содержание $\text{CaCO}_3$ , не менее	% к массе сухого вещества	93	96
2	Содержание $\text{MgCO}_3$ , не более	% к массе сухого вещества	2,5	1
3	Посторонние примеси (глина и другие), не более	% к массе сухого вещества	3	нет
4	Вещества, не растворимые в соляной кислоте, не более	% к массе сухого вещества	3	1
5	Предел прочности на сжатие	кг/см <sup>2</sup>	100	800
6	Фракционный состав известняка	мм	30-80 50-150 80-150	80-120 100-150 120-180

Даже если сравнить технические условия, действующие в разных отраслях промышленности Украины, то и в этом случае сахарная отрасль выдвигает пониженные требования к известняку. Так, по ОСТ 14-64-80 на известняки для производства извести в сталеплавильном производстве допускается массовая доля кусков больше и меньше установленного размера до 7 %. По ДСТУ 1451-96 допускаются куски известняка больше максимального размера на 15 % и меньше минимального на 10 %. Все вышеизложенное крайне негативно влияет на работу известковых печей сахарной промышленности. Так, низкая прочность известняка приводит к тому, что камень при погрузочно-разгрузочных работах, складировании и хранении на открытых площадках (низкая прочность сопровождается низкой морозостойкостью) дробится, и возникает необходимость в предварительном его пересеве не только перед подачей в печи, но и, зачастую, перед производственным сезоном. Это приводит к потерям, которые могут составлять до 40 % от массы завезенного камня. Однако, несмотря на предварительный пересев, в известняке, подаваемом в печь, все равно остается повышенное содержание мелких фракций. Кроме того, в процессе обжига известняк продолжает дробиться. Из мелких фракций образуется пережог извести, который не гасится, загружая очистное оборудование известковых отделений и образуя до 70 % мелких отходов известкового отделения. Так как, зачастую, технологическая схема очистки известкового молока не в состоянии удалить все эти примеси, то возникают проблемы на станции очистки соков, дополнительные продувки аппаратов дефекосатурации с потерями сахара, а также повышенный износ оборудования. Кроме того, мелкая фракция известняка, образуя более плотную упаковку с более крупными фракциями, даже при незначительной передозировке топлива может привести к сварам шихты, которые, привариваясь к футеровке, образуют козлы.

Таким образом, качество карбонатного сырья является основой успешного ведения процесса получения извести и сатурационного газа. В первую очередь необходимо улучшить фракционный состав известняка. Ведь уже в начале прошлого века было доказано [1], что в шахтную пересыпную известково-обжигательную печь загружать известняк размером менее 50 мм недопустимо. А стандарты Украины до настоящего времени допускают обжиг известняка фракции 30-80 мм, и

на подавляющем большинстве сахарных заводов размер отверстий на ситах отсева известняка составляет 25-40 мм. Таким образом, низкое качество карбонатного сырья, используемого для обжига в известковых печах сахарных заводов, является одной из главных причин плохих показателей работы многих известковых отделений. Поэтому при пересмотре технических условий на известняк необходимо использовать мировой опыт.

## 1.2.Топливо

В качестве топлива для получения извести на сахарных заводах Украины используют кокс с размерами кусков 25-40 мм / 30-80 мм, антрацит марки АКО (крупный орех) с размерами кусков 25-100 мм и, в последнее время, новое топливо – коксовый брикет размерами 40-60 мм. Основные характеристики топлива представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Наименование топлива	Показатели качества топлива <sup>1)</sup>					
	Низшая теплота сгорания, Q, ккал/кг	Влажность, W <sup>P</sup> , %	Зольность, A <sup>C</sup> , %	Содержание серы (общее), S <sup>C</sup> , %	Выход летучих веществ, V <sup>Г</sup> , %	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
Кокс доменный, "+25мм" ТУ У 322-00190443-114-96	6800-6650	<5	11-13	<2	<1,2	750
Кокс каменноугольный, ТУ У 10.1-00190443-069-2002	6600-6200	<8	13-15	<2	<2	750
Антрацит марки АКО, ТУ 12-075-94	7000-6900	<6	8-10	<2	4-6	1100
Брикет марки БКУС, ТУ У 10.1-00190443-069-2002	6600-6200	<5	11-13	<2	<1,2	740

1) Значение индексов: р- рабочая масса (рабочее топливо); с – сухая масса; г – горячая масса.

Из данных табл. 1.2. видно, что кокс и коксовый брикет значительно легче антрацита. Учитывая, что размеры кусков кокса меньше по сравнению с антрацитом, то в каждой дозе топлива их количество будет на порядок выше. Следовательно, и очагов горения по сечению шахты печи будет практически в десять раз больше. Это существенно влияет на работу печи. Поэтому показатели работы печи на антраците могут быть несколько хуже, чем при работе на коксе, а требования к проведению процесса обжига будут значительно жестче. В конечном итоге себестоимость **активной извести**, которая в дальнейшем используется в технологии сахарного производства, при работе на антраците может оказаться выше, чем полученной на коксе. Если к этому добавить то, что потери с летучими веществами у кокса будут в 4-5 раз меньше, чем у антрацита, а антрациты имеют легкоплавкую золу, способствующую образованию плавов в печи, ведущих к остановкам последних, то становится понятно, почему на сахарных заводах стран ЕС антрациты не используются. Парадоксальным выглядит их использование и в сахарной промышленности Украины. Аргументация здесь такова. В себестоимости сахарной свеклы затраты на получение извести и сатурационного газа составляют от 5 до 8 %, в т. ч. затраты на топливо для известково-газовой печи – 3-4 %. Экономя на цене топлива, можно снизить стоимость технической переработки на 1,5-2,0 %. Но эта экономия кажущаяся, поскольку убытки от потерь сахара на станции очистки соков, вследствие некачественной извести и печного газа (или их недостатка), перекрывают ее с лихвой. Кроме этого, каждый год часть сахарных заводов, работающих на антраците, имеет многочасовые остановки из-за приваров в печах. Если учесть, что час простоя сахарного завода приносит убыток в среднем около 40 тыс. грн., то становится ясным, к каким финансовым потерям это приводит. Поэтому в мировой практике антрациты в шахтных известковых печах применяются только там, где известь является конечным продуктом. В этом случае, экономя на цене топлива, можно снизить себестоимость продукции на 30-40 %, что и имеет место в промышленности строительных материалов.

Резюмируя вышеизложенное, считаем, что использование антрацитов на сахарных заводах Украины требует их специальной предварительной подготовки. В первую очередь следует обеспечить точное дозирование антрацита в шихту с помощью тензометрических

дозаторов топлива, а также хорошее перемешивание шихты в вагонетке скипового подъемника. Доза топлива должна быть в пределах 6,5-7,0 % к весу известняка. Эти меры позволят значительно снизить негативное влияние антрацита на качество извести. Недопал известняка, который при такой дозе топлива будет повышенным, необходимо пересеивать на сите 40-50 мм и крупную фракцию снова возвращать в печь. Это позволит избежать перерасхода известняка.

Топливо перед подачей в печь обязательно следует отсортировать, удалив мелкие (до 20 мм) и подробив крупные (более 100 мм) куски. Мелочь топлива легко проскакивает между кусками извести и выходит из печи несгоревшей. Крупные куски топлива не успевают сгореть и тоже выгружаются вместе с известью. Отсев топлива позволяет снизить его расход на 5-10 % [2,3], повысить качество извести и поднять концентрацию  $\text{CO}_2$  в печном газе. Соотношение средних размеров кусков антрацита и известняка должно быть 1:1. Для кокса это соотношение может быть 1:2. То есть, допускается, что средний размер кусков известняка будет в 2 раза больше чем у кокса. Это обусловлено тем, что насыпной вес кокса меньше, чем у антрацита, а коэффициент трения больше, и поэтому, даже имея меньшие размеры, кокс не будет проскакивать несгоревшим в зону охлаждения.

### **1.3. Известь**

Продуктом обжига известняка является известь ( $\text{CaO}$ ). Различают известь свободную и связанную (рис.1.1). Свободная  $\text{CaO}$  включает активную и неактивную окись кальция. Активная  $\text{CaO}$  – это та часть свободной  $\text{CaO}$ , которая без предварительного размола гасится водой, превращаясь в гидроксид кальция  $\text{Ca(OH)}_2$ , или гашеную известь. Неактивная  $\text{CaO}$  - часть свободной  $\text{CaO}$ , которая не реагирует с водой в обычных условиях, но может быть превращена в активную при тонком размолу. Образуется неактивная известь либо за счет обволакивания зерен активной  $\text{CaO}$  пленкой шлака (после размола такая известь хорошо гасится), либо это  $\text{CaO}$ , претерпевшая структурные изменения из-за высокой температуры обжига (такая известь будет долго гаситься и после тонкого размола). Главное заключается в том, что именно эта  $\text{CaO}$  неактивная и составляет 50-60 % отходов после аппаратов тонкой очистки известкового молока (Русселей, вибросит, гидроциклонов). У производителей  $\text{CaO}$  неактивная именуется "пережог извести".

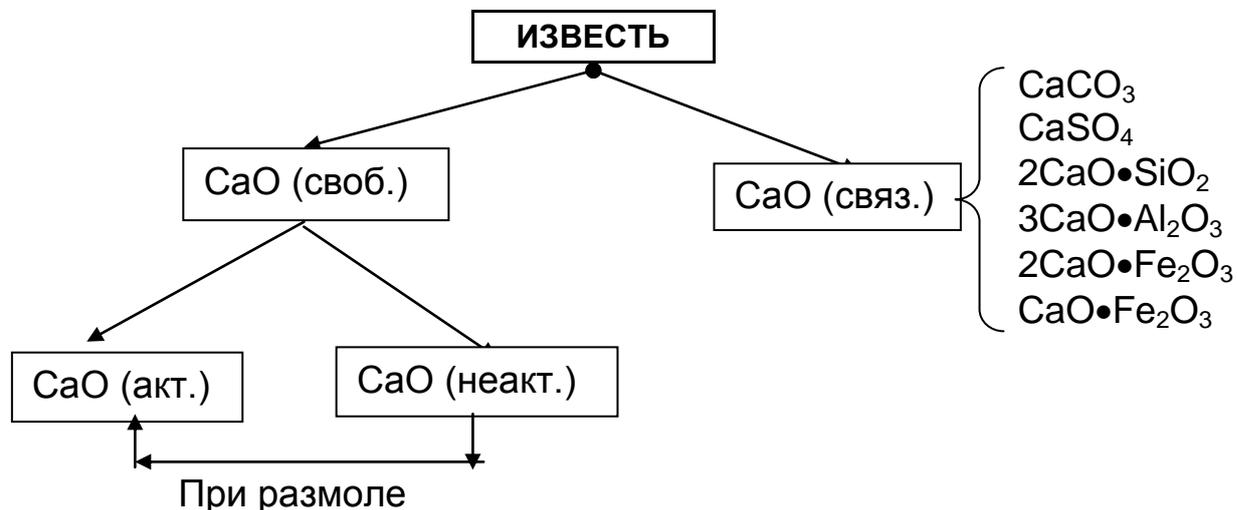


Рис. 1.1. Классификация видов извести, полученной при обжиге известняка

Связанной CaO называют ту часть оксида кальция, которая вступила во взаимодействие с примесями и образовала новые химические соединения. Сюда относят и неразложившийся  $\text{CaCO}_3$ .

В целях снижения себестоимости извести и печного газа процесс обжига необходимо вести так, чтобы получать как можно больше  $\text{CaO}_{\text{(акт.)}}$ . Достигается это хорошей подготовкой и дозировкой шихты, а также низкими (6,5-7%) дозами топлива.

Главное требование к печной извести – она должна гаситься водой за 10-15 минут по методике, изложенной в [4], при этом должна достигаться температура 85-90° С.

#### 1.4. Сатурационный газ

Печной (сатурационный) газ, выходящий из известковых печей, имеет такой состав: азот – 55-65 %, двуокись углерода (углекислый газ) – 30-40 %, кислород 1,5-5 %, окись углерода 0,1-4 %. Кроме того, в газе содержатся окислы азота, смолистые вещества, хлориды щелочных металлов, мелкие частицы известняка и топлива. Общее содержание твердых частиц в 1 м<sup>3</sup> газа составляет: до очистки - 400÷2500 мг, при средних размерах частиц 120-150 мкм; после очистки – 50÷70 мг, при средних размерах частиц 20-30 мкм. Половина из этих примесей – смолистые вещества.

Запыленный газ нельзя подавать в газовые насосы, это приведет к их коррозионному и абразивному износу, а также к отложению солей

щелочных металлов и смолистых веществ. В особенности это относится к турбогазовдувкам типа ТГ-80-1,6, которые еще эксплуатируются на некоторых сахарных заводах и имеют технические требования по запыленности газа до 10 мг/м<sup>3</sup>. Установленные же на сахарных заводах системы очистки газа не могут обеспечить таких требований. В результате - постоянные промывки и чистки газодувок, зачастую с нарушениями техники безопасности.

Газовые насосы типа ВВН, ВК и ВГК имеют менее жесткие требования по запыленности печного газа, поэтому такие насосы могут безопасно эксплуатироваться на сахарных заводах.

Следует отметить, что состав печного газа влияет на качество очищаемых соков. Так, повышенное содержание кислорода в газе (свыше 2,4-3,0 %), ведет к росту кальциевых солей, редуцирующих веществ и цветности. Как следствие, падает доброкачественность сока, уменьшается выход сахара, поскольку он окисляется и переходит в мелассу [5]. Зависимость доброкачественности сока и потерь сахара от содержания кислорода в сатурационном газе представлена в табл. 1.3. Расчеты потерь выполнены по методике, изложенной в работе [6].

Таблица 1.3

Содержание O <sub>2</sub> в сатурационном газе, %	1,8	3,0	5,2	5,9	7,9
Доброкачественность сока второй сатурации, %	91,8	91,5	90,8	90,7	90,6
Потери сахара, т/сутки, для завода мощностью 3000 т свеклы/сутки	-	-	3,51	4,38	4,8

Из данных табл. 1.3 следует важный вывод о том, что в процессе загрузки шихты должна обеспечиваться герметичность печи. Достичь этого легче в том случае, когда загрузочно-распределительное устройство имеет два клапана. Правильность такого решения подтверждает и опыт сахарных заводов стран ЕС. На подавляющем большинстве известковых печей там стоят двухклапанные загрузки.

ООО "Цукровик" разработано (патент Украины № 5349) и около 10 лет широко внедряется на сахарных заводах Украины и России загрузочное устройство с двумя обрезиненными клапанами. Вместе с тем, по-видимому, вследствие отсутствия информации о вредном

влиянии кислорода на процесс очистки соков, некоторые фирмы продолжают устанавливать на известковых печах одноклапанные загрузочные устройства, которые не соответствуют современным техническим требованиям.

Окись углерода также влияет на очистку сока. Поглощаясь последним, она увеличивает продолжительность процесса сатурации в 1,7-2 раза. При этом доброкачественность соков, как первой, так и второй сатурации снижается [7]. Так, содержание в печном газе 2 % CO снижает доброкачественность соков на 0,6 %. Потому, если содержание CO в печном газе будет выше 0,6-1,0 %, потери сахара для завода, перерабатывающего 3000 т свеклы в сутки, могут составить до 2 т в сутки. Добиться низкого содержания CO можно только при низких расходах топлива и его хорошем распределении по поперечному сечению шахты печи, а также при хорошей подготовке шихты.

Температура печного газа должна составлять: на выходе из печи - около 100 °С, после очистки – около 30 °С. Если температура газа после очистки будет выше, снизится производительность газовых насосов. Это, в свою очередь, приведет к опусканию зоны обжига и появлению огней на выгрузке с резким понижением всех показателей работы печи.

## **2. Процессы, происходящие в известково–газовой печи**

### **2.1. Особенность теплового режима печи**

При анализе процессов, происходящих в известково–газовой печи, выделяют три основные зоны: подогрева шихты, разложения известняка (обжига) и охлаждения извести, рис. 2.1.



Рис.2.1. Расположение зон по высоте шахты печи.

Особенность теплового режима работы печи заключается в том, что продукты, участвующие в процессе обжига (шихта и воздух), поступают в зону обжига всегда догретыми до температуры разложения известняка. Подготовка происходит в зоне подогрева, где шихта нагревается уходящими из зоны обжига печными газами, и в зоне охлаждения, где выгружаемая из печи известь отдает свое тепло воздуху, поступающему в печь.

В зоне обжига известковой печи известняк ( $\text{CaCO}_3$ ) разлагается на известь ( $\text{CaO}$ ) и углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) только после нагрева до  $900\text{ }^\circ\text{C}$ . При этом процесс идет с большим поглощением тепла ( $760\text{ ккал}$  на  $1\text{ кг CaO}$ ). Зона горения топлива находится в пределах зоны разложения. Размеры зоны горения зависят от многих факторов, но определяющим является средний размер кусков топлива. При соотношении средних размеров кусков известняка и топлива  $1:1$  высота зоны горения составляет от  $60$  до  $85$  их средних диаметров. При соотношении  $3:1$  относительная высота зоны может увеличиваться до  $120-170$  диаметров среднего куска топлива за счет проскока последнего через шихту. Обычно высота зоны горения составляет от  $1,5$  до  $3,0$  м.

## **2.2. Сжигание топлива в шахтных печах**

Сжигание топлива в печах характеризуется такими условиями:

- горение топлива идет в слое известняка, следовательно, вместо сплошного горящего слоя образуются очаги горения, разделенные известняком;
- кусковой слой известняка, выполняющий функции колосниковой решетки, непрерывно перемещается;
- выделяемое топливом тепло активно поглощается на разложение  $\text{CaCO}_3$  прямо в зоне горения, поэтому максимальная температура здесь не превышает  $1300\div 1350\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- количество сгоревшего топлива полностью определяется количеством подведенного воздуха;
- так как шихта и воздух поступают в зону горения топлива догретыми до температуры разложения, то тепло в зоне горения расходуется только на покрытие эндотермического эффекта реакции разложения известняка за исключением потерь в окружающую среду.

Процесс сжигания топлива в печи можно разделить на несколько стадий: сушка топлива (удаление влаги), выделение летучих веществ, горение. Выделение летучих веществ начинается при 200 °С. Происходит оно в зоне подогрева, где кислород, практически, отсутствует. Поэтому теплота сгорания летучих веществ топлива в печах не используется. Как следствие, расход антрацита, по сравнению с коксом, будет на 6-8 % выше за счет высокой теплоты сгорания предельных углеродов и водорода, из которых состоят летучие вещества антрацита.

При использовании антрацита оптимальное соотношение средних размеров кусков известняка и топлива должно быть 1:1. Для кокса оно может составлять 2:1. Поскольку коэффициент трения у кокса больше, а насыпной вес меньше, чем у антрацита, то это предотвращает проскакивание кокса даже при меньших, по сравнению с известняком, его размерах.

Качество извести (время гашения и реакционная способность) зависит от температуры в зоне обжига: чем ниже температура разложения известняка, тем выше качество извести. В свою очередь температура в зоне обжига возрастает при увеличении удельной производительности печи (съем  $\text{CaO}$  с  $1 \text{ м}^2$  поперечного сечения шахты печи) и дозы топлива. Потому, чем ниже эти параметры, тем выше качество извести. Наилучшие показатели обычно достигаются при удельных съемах 8-9 т  $\text{CaO}$  с  $1 \text{ м}^2$  в сутки и дозе топлива до 7 % к массе известняка. Максимальная удельная производительность печи, при которой известь еще отвечает технологическим требованиям свеклосахарного производства [4], - 11 т  $\text{CaO}$  с  $1 \text{ м}^2$  в сутки. Дальнейшее повышение удельной производительности приводит к тому, что часть извести перестает гаситься и выводится из известкового отделения в отвал, где со временем она разгашивается и превращается в пушонку. Производительность известкового отделения по основному продукту  $\text{CaO}_{\text{акт}}$  падает. Известкового молока не будет хватать для очистки прежнего количества соков, и завод будет вынужден снизить производительность по переработке свеклы.

### 2.3. Расположение зон по высоте шахты печи

Оптимальный режим работы печи достигается только при условии нормального расположения зоны обжига по высоте шахты печи. В этом случае высоты зон подогрева и охлаждения обеспечат догрев шихты и воздуха, поступающих в зону обжига, до температуры разложения известняка, и тепло в зоне обжига будет расходоваться только на протекание реакции разложения  $\text{CaCO}_3$ . Судить о местонахождении зоны обжига можно по температуре печного газа и извести. При нормальном расположении зон температура отходящего печного газа составляет  $100 \div 130$  °С, а выгружаемой из печи извести -  $20 \div 40$  °С.

Если количество воздуха, поступающего в зону горения, будет больше, чем необходимо для сжигания находящегося там топлива, то зона горения начнет перемещаться вверх и, в случае непринятия мер, может подняться на самый верх печи и вывести из строя загрузочно-распределительное устройство и устройство отбора газа из слоя шихты. Печь придется останавливать для ремонта. Если зона горения несколько сместилась вверх печи, и ее дальнейшее передвижение было приостановлено увеличением производительности выгрузочного устройства либо снижением производительности тягодутьевых машин, то длина зоны подогрева сократится. Соответственно сократится и продолжительность пребывания шихты в зоне подогрева. Следовательно, шихта попадет в зону горения топлива недогретой до температуры разложения. Часть тепла горения топлива, которая ранее расходовалась на разложение известняка с образованием  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$ , пойдет на догрев шихты. При этом производительность печи по  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$  снизится, возрастет температура отходящих газов, упадет концентрация  $\text{CO}_2$ , удельные расходы известняка и топлива на получение  $\text{CaO}$  увеличатся. Добавление дозы топлива ситуацию не только не исправит, но даже усугубит ее. Поскольку увеличение температуры в зоне обжига не может компенсировать сокращение времени пребывания шихты в зоне подогрева. Шихта в зоне подогрева по-прежнему не будет догреваться до температуры разложения известняка. Показатели работы еще более ухудшатся. Единственно правильным решением будет вернуть зону горения топлива на прежнее место, восстановив температуру отходящих газов.

Неудовлетворительная работа известковой печи будет наблюдаться и при смещении зоны горения вниз печи. В этом случае воздух,

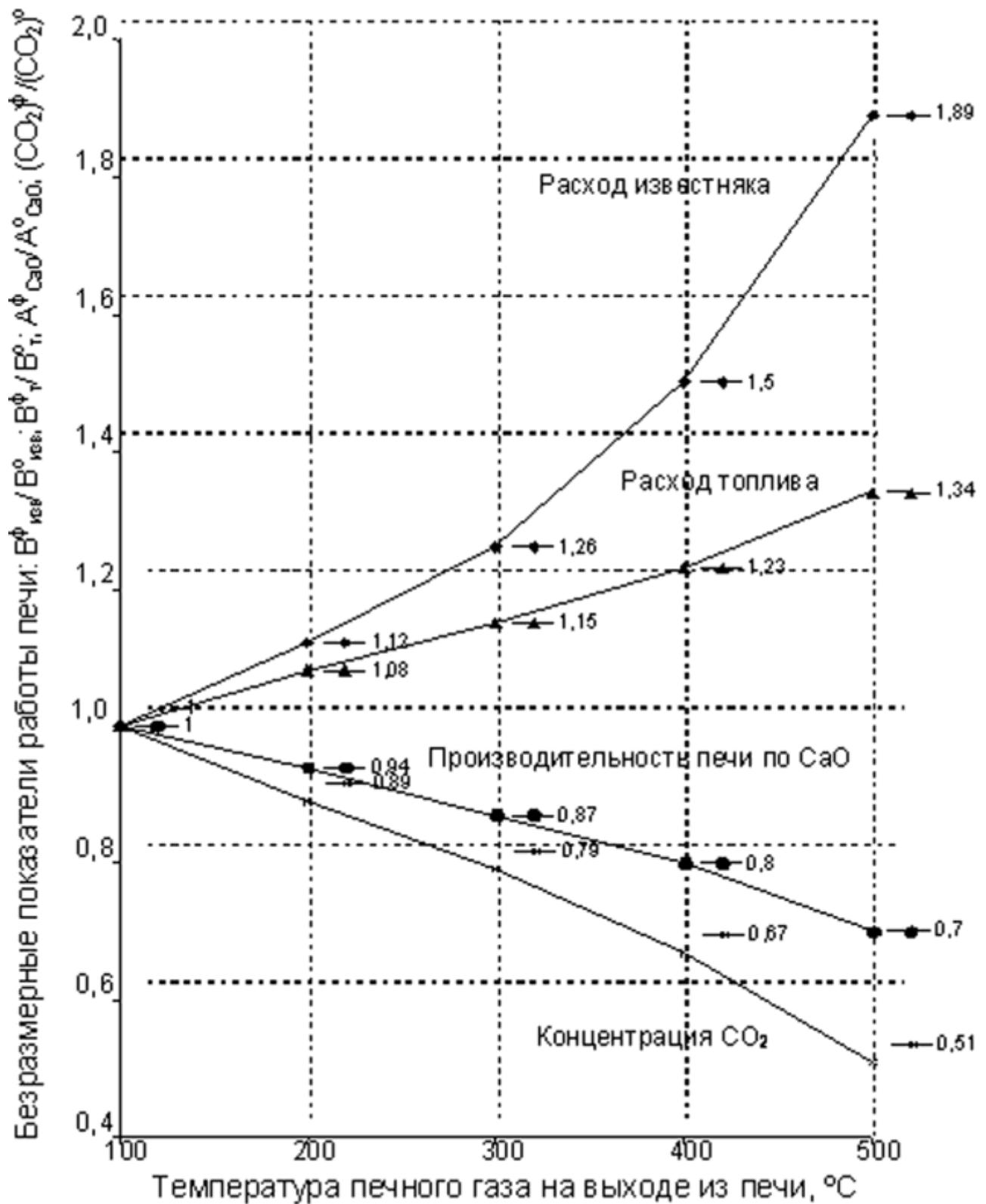


Рис. 2.2. Параметры работы известковой печи при смещении зоны обжига вверх шахты печи

$V_{изв}$ ,  $V_T$ ,  $A_{CaO}$ ,  $CO_2$  - соответственно, расход известняка, расход топлива, производительность печи по CaO, концентрация CO<sub>2</sub>.

Верхние индексы: ф – фактическое значение параметра; о – нормативное.

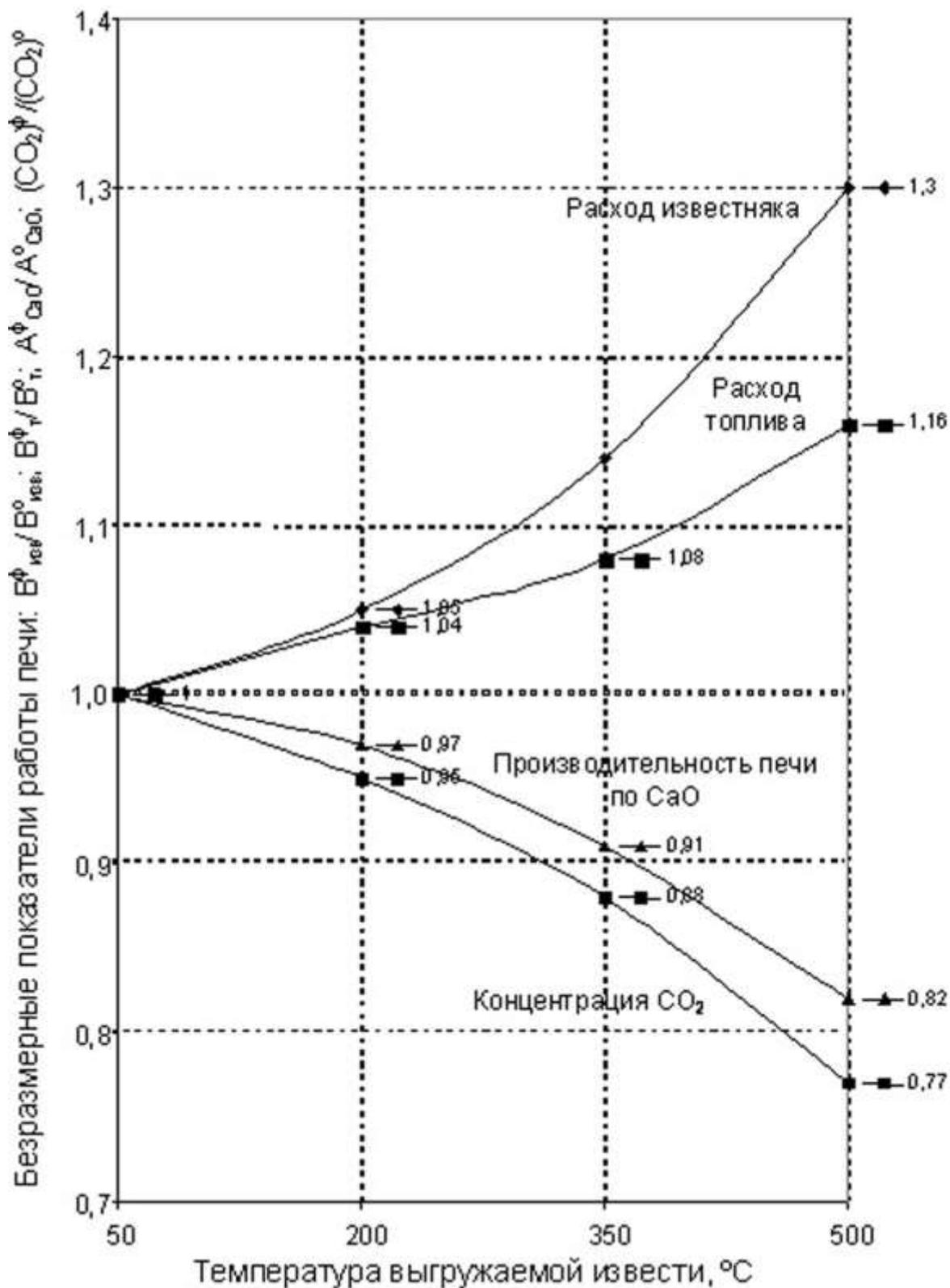


Рис. 2.3. Параметры работы известковой печи при смещении зоны обжига вниз шахты печи

$V_{изв}$ ,  $V_{т}$ ,  $A_{CaO}$ ,  $CO_2$  - соответственно, расход известняка, расход топлива, производительность печи по CaO, концентрация CO<sub>2</sub>.

Верхние индексы: φ – фактическое значение параметра; o – нормативное.

поступающий в зону обжига, не будет догреваться до температуры разложения известняка. Потери тепла с выгружаемой известью увеличатся. Зависимость основных показателей режима работы печи, от положения зоны горения представлена на рис. 2.2-2.3 [8]. Из этих рисунков видно, что чем больше смещение зоны горения от нормы, тем хуже показатели работы печи.

Зависимость безразмерной длины зон подогрева и охлаждения от безразмерной температуры печного газа и извести изображена на рис. 2.4. Из рисунка видно, что существуют участки прямолинейной зависимости этих величин. Особенно заметно это выражено в зоне подогрева: 2-кратное увеличение температуры печного газа, по сравнению с нормой, приводит к сокращению зоны подогрева на 72%.

Учитывая, что расчетная длина зоны подогрева обычно составляет от 10 до 15 м, можно сделать вывод, что повышение температуры печного газа от 100 °С до 200 °С обусловлено сокращением зоны подогрева с 10-15 м до 3-5 м. То есть, увеличение температуры отходящего печного газа всего на 10 °С соответствует сокращению зоны подогрева на 0,7-1,0 м. Этими расчетными данными можно пользоваться для определения нового положения зоны горения, если было известно ее первоначальное положение и повышение температуры не превысило нормативную в 2 раза.

Из вышеизложенного следует, что важнейшим показателем, характеризующим местоположение зоны обжига (горения) по высоте шахты печи, является температура отходящего печного газа. Этот параметр обязательно следует записывать, чтобы в дальнейшем иметь возможность оценить по нему режим работы печи. Например, если зону горения сместили вверх, и это зафиксировано показателями температуры печного газа, а затем зону горения вернули в прежнее положение, то через некоторое время (16-20 час.) из печи резко возрастет выход необожженной извести ("недопала"). Наличие записи температуры позволит разобраться в сложившейся ситуации и не добавлять дозу топлива для уменьшения "недопала". Потому что через некоторое время, равное времени работы печи с повышенной температурой печного газа, качество извести вновь станет нормальным. То же самое относится к смещению зоны горения топлива вниз печи и к перекосам зоны горения печи.

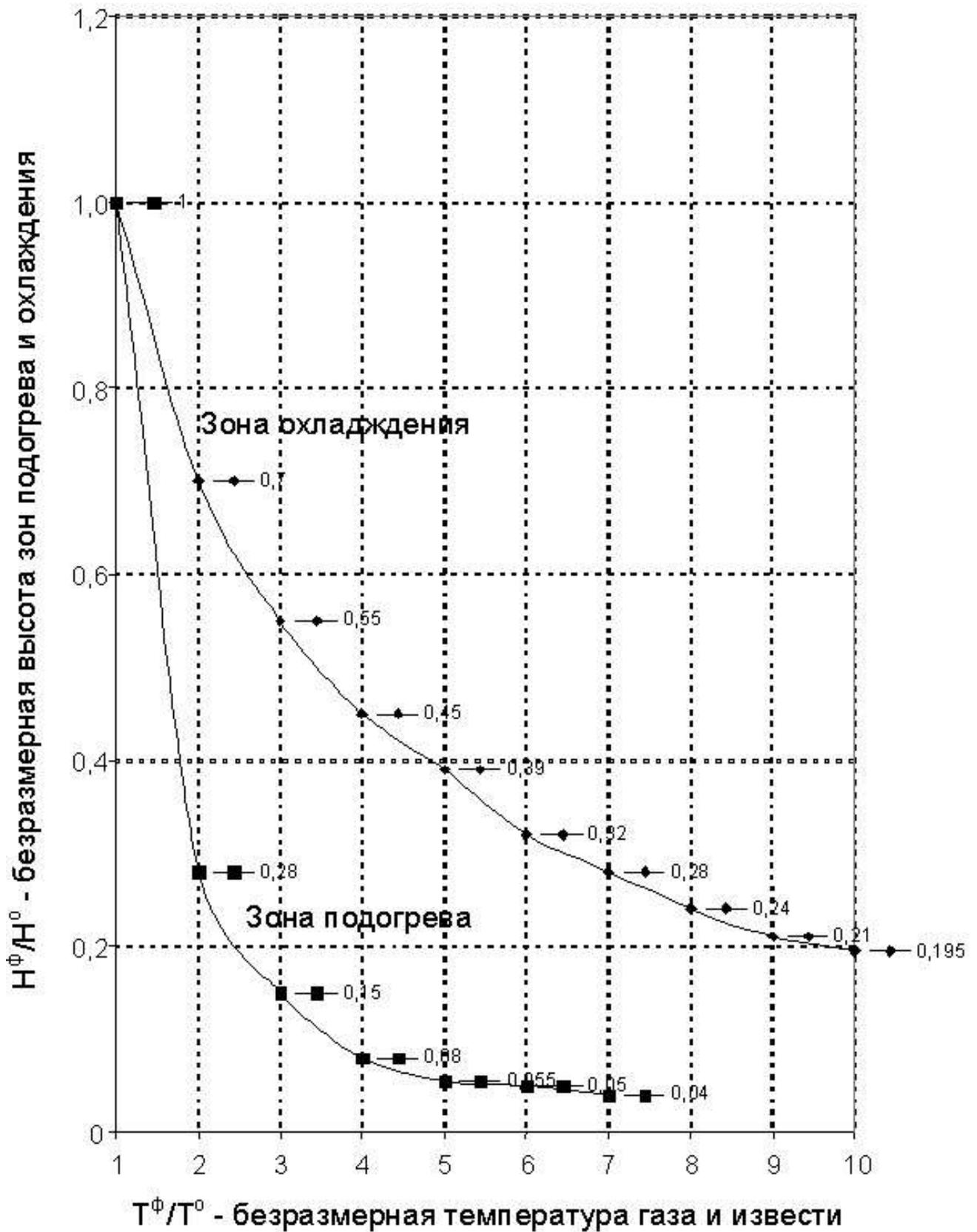


Рис.2.4. Зависимость размеров зон подогрева и охлаждения от температуры выходящих из печи газа и извести

Индексы:  $\phi$  – фактическое значение параметра;  $o$  – нормативное.

## 2.4. Полезная высота и производительность печи

Полезная высота печи - это расстояние от места ввода воздуха в печь до места отбора печного газа из слоя шихты, либо до уровня засыпки, если отбор газа производится над слоем шихты. Полезная высота складывается из высоты трех зон: подогрева, горения и охлаждения. Для обеспечения нормальной работы печи ее полезная высота должна соответствовать размеру известняка. Если для данного размера известняка полезная высота шахты печи будет меньше необходимой, то работа печи будет происходить как при смещении зоны горения вверх печи. При полезной высоте шахты печи больше необходимой, будет иметь место повышенный (в сравнении с нормой) расход электроэнергии на работу газовых насосов вследствие увеличенного аэродинамического сопротивления печи. Кроме того, возможен повышенный выход СО. Поэтому полезная высота печи должна соответствовать размеру известняка. Зависимость полезной высоты шахты печи от среднего размера кусков известняка представлена в табл. 2.1. Данные приведены для удельного съема извести 11 т СаО/(м<sup>2</sup> сутки).

Таблица 2.1

Средний размер кусков известняка, мм	30	80	120	150
Необходимая полезная высота шахты печи, м	6	13	21	28

Сопоставляя данные табл. 2.1 с фракционным составом известняка по ДСТУ 1451-96, можно определить оптимальную полезную высоту шахты печи для каждой из используемых фракций. Результаты такого сопоставления представлены в табл. 2.2. При этом за определяющий размер для фракций принят средневзвешенный диаметр кусков известняка.

Таблица 2.2

Размер фракции обжигаемого известняка, мм	30-80	50-150	80-150
Оптимальная полезная высота шахты печи, м	10-11	14-15	16-17

В настоящее время на сахарных заводах Украины подавляющее большинство печей имеют полезную высоту от 14 до 17 м. Следовательно, при обжиге известняка фракции 30-80 мм будет иметь место ситуация, когда полезная высота шахты печи больше необходимой. В этом случае, при режимах работы печей с увеличенной высотой зоны подогрева, в печах образуется резервная зона, способствующая повышенному выходу СО. Если же поддерживать зону горения на такой высоте, чтобы зона подогрева соответствовала расчетным размерам для этой фракции (6-7 м), то резервной зоны не будет, но размеры зоны охлаждения возрастут с 2,5 м до 6-7 м. То есть, половина печи будет заполнена известью. Аэродинамическое сопротивление слоя кусковой засыпки такой печи будет повышенным, в сравнении с нормой, и, как следствие, будет иметь место перерасход электроэнергии. Это еще одно подтверждение того, что фракцию 30-80 мм целесообразно упразднить и изъять из ДСТУ 1451-96.

Следует отметить, что причиной неудовлетворительной работы печи чаще всего является неравномерное распределение топлива и известняка по сечению шахты печи. Следствие этого – перекося зоны горения. Там, где она будет высоко, не будет хватать высоты зоны подогрева. Там, где зона горения опустится вниз – не будет хватать зоны охлаждения. Появляется **искусственная нехватка высоты печи**, хотя геометрическая высота ее при этом достаточная. Устранить такую ситуацию можно не наращиванием высоты печи, а обеспечением равномерного распределения топлива и известняка по сечению шахты печи. Для этого необходимо установить более совершенные загрузочно-распределительное и выгрузочное устройства.

Производительность печи определяется двумя параметрами: диаметром ее шахты и удельным съемом СаО с 1 м<sup>2</sup> поперечного сечения шахты печи. Верхнее значение производительности печи можно определить, умножив площадь сечения шахты печи на максимально допустимый съем – 11-12 т СаО/(м<sup>2</sup>сутки).

В настоящее время продолжает существовать неверное мнение о том, что производительность печи определяется ее объемом. В результате такого заблуждения, зачастую, для увеличения производительности не расширяют диаметр шахты печи, а наращивают ее высоту. Если предположить, что первоначальная полезная высота печи и фракция обжигаемого в ней известняка соответствовали

требованиям табл. 2.2, то такая реконструкция приведет только к ухудшению работы печи вследствие сверхнормативного увеличения полезной высоты шахты печи. Производительность печи не увеличится.

## 2.5. Аэродинамическое сопротивление слоя кусковой засыпки

В загруженной шихтой печи между кусковой засыпкой всегда имеются “пустоты”. Совокупности этих пустот образуют каналы, по которым, благодаря работе газовых насосов и естественной тяге, движется поток газа. Сопротивление, которое шихта оказывает движущемуся через нее газу, называется аэродинамическим сопротивлением печи. Обусловлено оно, главным образом, многочисленными внезапными сужениями и расширениями потока газа. Величина аэродинамического сопротивления пропорциональна квадрату скорости газа и полезной высоте шахты печи и обратно пропорциональна среднему размеру куска засыпки. Отсюда следует важный для практики вывод о том, что если изменилась производительность печи по CaO, то изменение сопротивления на выходе из печи можно определить по формуле:

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{A_2^2}{A_1^2}, \quad (1)$$

где:  $A_1$  и  $A_2$  - начальная и конечная производительность печи по CaO, т/сутки;

$P_1$  и  $P_2$  - начальное и конечное значения разрежения после печи, мм вод. столба.

Из выражения (1) следует, если, например, производительность печи увеличится в два раза, то сопротивление слоя шихты, при тех же прочих условиях, возрастет в четыре раза.

Значительно увеличивает аэродинамическое сопротивление слоя засыпки наличие мелкой фракции, так как ее присутствие среди крупных кусков делает упаковку слоя более плотной. Например, слой известняка с размерами 30-40 мм будет иметь сопротивление меньше, чем такой же слой с размерами известняка 30-80 мм, несмотря на то, что средний размер известняка во втором случае больше. Из сказанного следует, что сопротивление слоя засыпки в значительной степени может быть

снижено за счет хорошей подготовки известняка и топлива. Главная суть такой подготовки состоит в отсеивании мелочи и грязи, а также дроблении крупных кусков.

Таким образом, сопротивление слоя шихты является следствием многих факторов: фракционного состава известняка и топлива, а также качества их подготовки, производительности печи и высоты слоя засыпки. Поэтому разрежение после печи не может быть тем параметром, по которому ведут технологический процесс обжига, как, например, температура отходящих печных газов. На практике разрежение после печи используют только как вспомогательный показатель, по которому косвенно можно определить герметичность закрытия клапанов загрузочного устройства и изменение производительности печи.

## **2.6. Поле скоростей газа в известковой печи**

При заполнении шахты печи кусковой засыпкой доля свободного объема (доля пустот, занятых газовой фазой) у стен всегда больше, чем в центральной ее части. Поэтому аэродинамическое сопротивление в центре печи выше, чем возле футеровки и, следовательно, скорости движения газа в центре ниже, чем у стенок (как правило, скорость потока по центру печи составляет около 70% от скорости возле футеровки). Эффект пристенного повышения скорости потока газа распространяется (от футеровки к центру печи) на величину от 1 до 2 диаметров среднего размера куска.

Если изменение скорости потока газа имеет место не только по поперечному сечению, но и по высоте шахты печи, то такое поле скоростей называют неустановившимся. При равномерном подводе воздуха по центру и периферии печи высота неустановившегося поля скоростей составляет менее двух диаметров шахты печи. Если же подвод воздуха осуществляется только по периферии, то неустановившееся поле скоростей потока газа увеличивается до четырех диаметров и занимает большую часть высоты печи. В этом случае процессы горения топлива и теплообмен между газом и шихтой будут неравномерными как по сечению, так и по высоте печи. Как следствие – обжиг материала будет неравномерным, что, в конечном итоге, приведет к перерасходу топлива и известняка. На практике такое

явление можно наблюдать в печах, оборудованных старыми выгрузочными устройствами, такими, как каретки Антонова или вращающаяся улита (если не обеспечен центральный подвод воздуха). Для того, чтобы минимизировать отрицательное влияние неустановившегося поля скоростей потока газа на работу печи, выгрузочное устройство необходимо обеспечить центральным подводом воздуха, а еще лучше - заменить на более современное.

### **3. Современное оборудование известковых отделений**

В настоящее время в известковых отделениях сахарных заводов Украины установлены известковые печи различных конструкций - ИПШ-100, печи конструкции "Трубостроя", печи объемом 90 и 120 м<sup>3</sup> с выгрузочным устройством типа "улита", печи поставок зарубежных фирм, печи с загрузочно-выгрузочным устройством в виде неравностороннего поворотного конуса с отбойниками и т. д. Срок их эксплуатации составляет от 20 до 50 лет. И морально, и физически эти печи устарели. Не лучше обстоит ситуация и с оборудованием для гашения и очистки известкового молока, а также по подготовке и дозированию шихтовых материалов. Поэтому технико-экономические показатели работы известковых отделений и санитарно-гигиенические условия работы в них зачастую оставляют желать лучшего.

Учитывая, что в сложившейся экономической ситуации сахарные заводы Украины располагают крайне ограниченными средствами для поддержания и развития производства, ООО «Цукровик» совместно с лабораторией известкового газового хозяйства Украинского научно-исследовательского института сахарной промышленности (УкрНИИСП) за последние десять лет разработали целый ряд новых конструктивных и проектных решений эффективного оборудования и технологий. Внедрение этих разработок на сахарных заводах позволит значительно сократить затраты на реконструкцию старых и строительство новых известковых отделений.

Ниже мы ознакомим читателя с новыми разработками. Конструкции старого оборудования известковых отделений не рассматриваются.

### **3.1. Новая футеровка для известковых печей**

ООО «Цукровик» разработана новая футеровка для известковых печей с огнеупорным слоем из хромитопериклазовых изделий и обмуровкой из шамотного ультралегковесного кирпича ШЛ-0,4 и муллитокремнеземистого рулонного материала МКРР-130. Такая футеровка, кроме увеличения срока службы в 2-3 раза в сравнении с традиционной, позволяет повысить производительность печей на 25% за счет увеличения диаметра шахты. Кроме того, эта футеровка предотвращает привары шихты к стенкам шахты, что повышает надежность работы печей.

### **3.2. Оборудование для подготовки, дозирования и транспортирования шихтовых материалов**

Хорошая работа печей зависит от точности дозирования топлива и его последующего перемешивания с известняком в вагонетке скипового подъемника. Особенно это важно при использовании в качестве топлива антрацитов. ООО «Цукровик» совместно с лабораторией известкового газового хозяйства УкрНИИСП разработали ряд устройств, обеспечивающих эффективное выполнение вышеуказанных операций.

На рис. 3.1 представлена вибротечка для перемешивания известняка и топлива. Она позволяет обеспечить одновременную подачу в вагонетку потоков известняка и топлива. Вибротечка состоит из бункера для топлива (поз. 1), размещенного на раме из швеллеров (поз. 2) и лотка (поз. 3) с вибратором (поз. 4), подвешенных на тросах (поз. 5) с резиновыми амортизаторами (поз. 6). Бункер вибротечки устанавливается под бункером весов для топлива. Инсталляция вибротечки выполняется "по месту". Вибратор включается одновременно с устройством подачи известняка в вагонетку, а время высыпания дозы топлива выбирается углом наклона лотка, который регулируется длиной тросов подвески. Документация разработана для изготовления вибротечки силами сахарного завода.

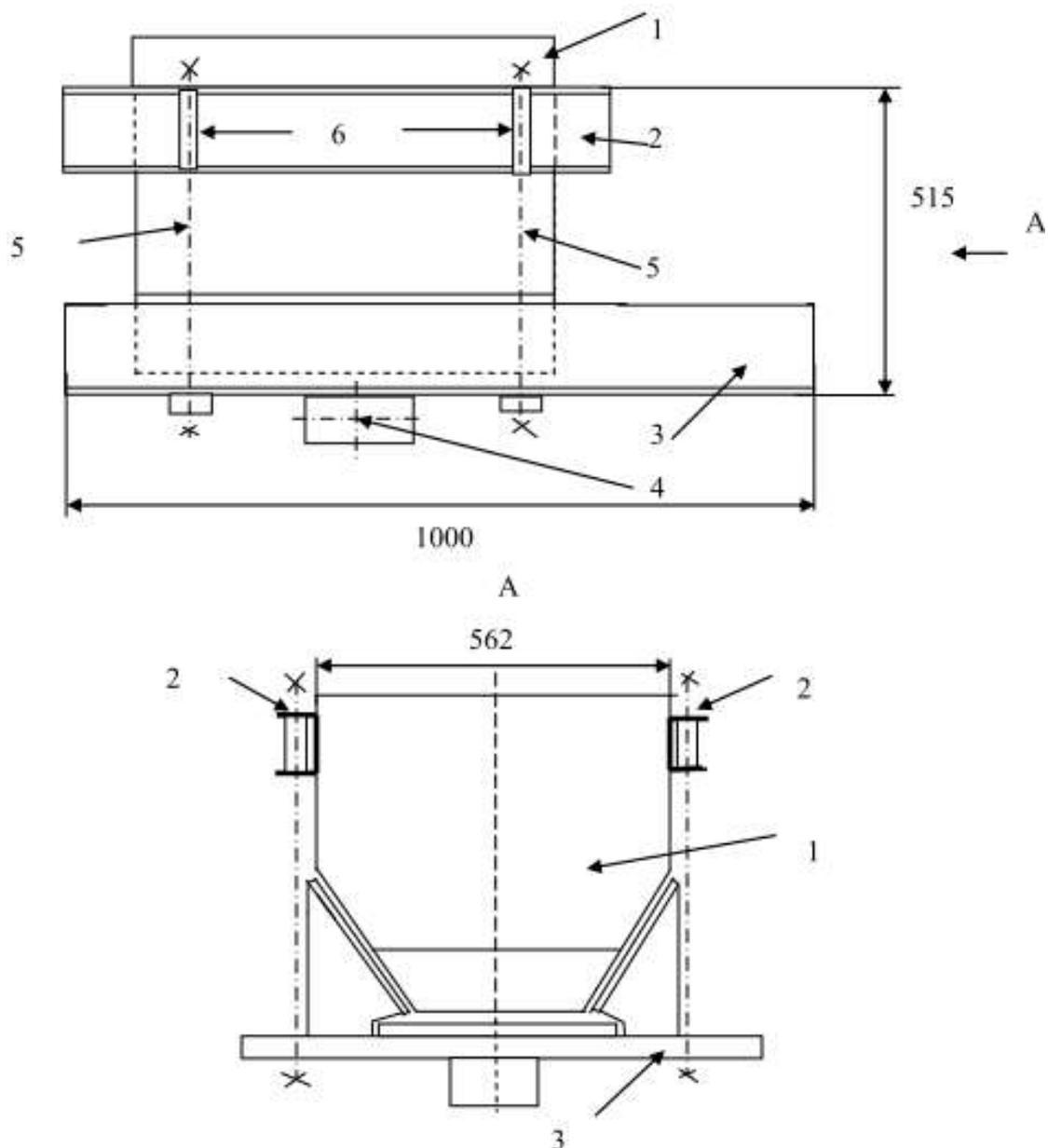


Рис. 3.1. Вибротечка для перемешивания топлива с известняком в вагонетке скипового подъемника.

Дозатор топлива и перемешиватель его в вагонетке скипового подъемника представлен на рис. 3.2.

Принцип работы дозатора состоит в следующем. После заполнения, в нужном количестве, приемного бункера дозатора топливом по сигналу тензометрического датчика питатель топлива отключается. Подготовленная доза топлива подается в вагонетку одновременно с известняком при медленном и регулируемом открытии дна приемного бункера дозатора. Устройство эксплуатируется на Дубновском сахарном заводе.

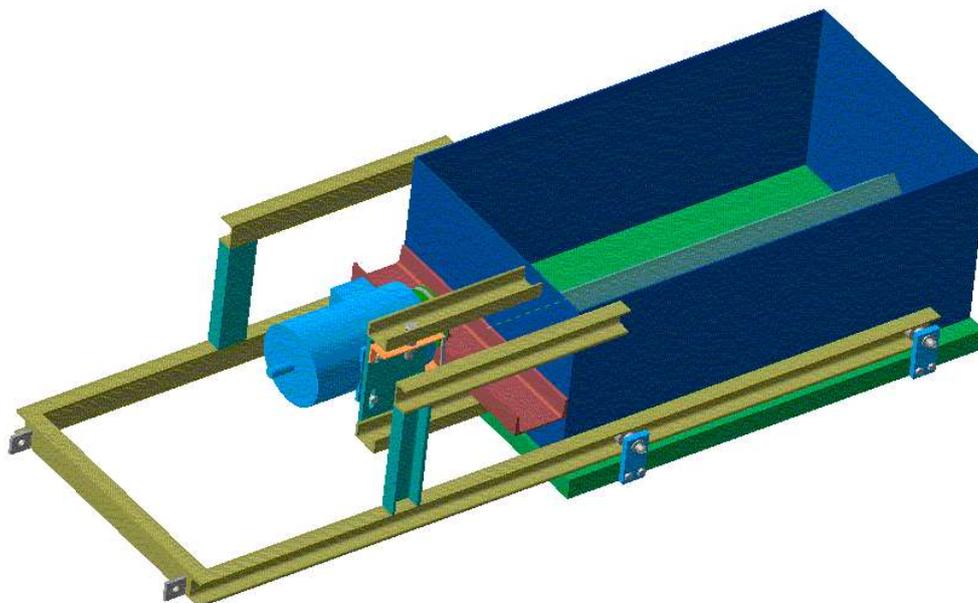


Рис. 3.2. Дозатор–перемешиватель топлива с известняком.

Хорошо зарекомендовали себя в промышленности разработанные ООО «Цукровик» двухскоростные загрузочные лебедки грузоподъемностью до 2 т (рис. 3.3).

Лебедка позволяет поднимать вагонетку со скоростью 1,0 м/с, снижая ее внизу и вверху ствола до 0,4 м/с. Обеспечивается это за счет изменения диаметра барабанов для наматывания троса. Такая конструкция надежно обеспечивает медленное движение вагонетки в процессе ее переворачивания в приемную воронку загрузочного устройства и в моменты трогания и остановки в нижнем положении на стволе скипового подъемника. Это гарантирует плавную работу механизмов загрузочного устройства и устройства для взвешивания шихты. Лебедка унифицирована и может обеспечить загрузку шихтой печей производительностью от 80 до 150 т СаО/сутки. Изготавливается она индивидуально под конкретный ствол скипового подъемника на диапазон хода вагонетки от 27 до 42 м.

Лебедка предложенной конструкции отличается повышенной надежностью работы по сравнению с многоскоростными лебедками, где изменение скорости движения вагонетки обеспечивается за счет изменения количества оборотов электродвигателя.



Рис.3.3. Двухскоростная загрузочная лебедка.

### Техническая характеристика

Диапазон хода вагонетки по стволу скипового подъемника, м	- 27÷42
Скорость трогания и торможения вагонетки, м/с	- 0,4
Скорость движения ковша основная, м/с	- 1,0
Диаметр каната, мм	- 14
Мощность электродвигателя, кВт	- 22
Габаритные размеры, мм:	
длина	- 1280÷1360
ширина	- 1130÷1210
высота	- 1070÷1210
Масса, кг	- 1000÷1070

Каждый год на сахарных заводах Украины фиксируются случаи обрыва тросов и падение вагонеток со скипового подъемника. В результате имеют место простои предприятий. Дабы исключить подобные явления, по заданию ООО «Цукровик» была разработана система тензометрического дозирования известняка, одновременно производящая непрерывный замер усилия на тросе в процессе движения вагонетки по стволу скипового подъемника. Таким образом, помимо дозирования, такая система позволяет остановить электродвигатель лебедки скипового подъемника при превышении заданной величины усилия на тросе. Это предохраняет электродвигатель, редуктор лебедки и сам трос от перегрузок. Подобные системы успешно эксплуатируются на Ярьесковском и Линовицком сахарных заводах Украины.

В комплекте с модернизированным ООО «Цукровик» ловителем вагонеток (рис. 3.4) вышеописанная система позволяет значительно повысить надежность работы печи.

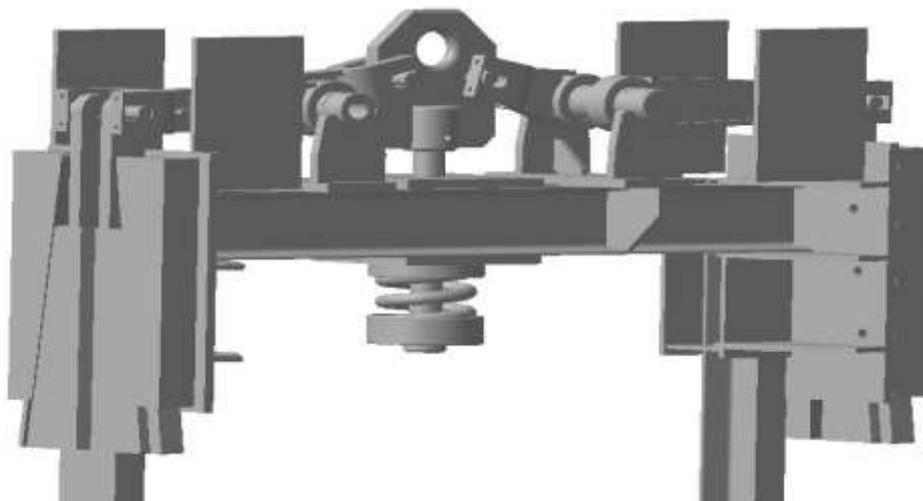


Рис. 3.4. Ловитель вагонеток аварийный.

### **3.3. Загрузочно-распределительные и выгрузочные устройства**

Двухклапанное загрузочно-распределительное устройство Ц1-10 (патент Украины № 5349) представлено на рис. 3.5. Посредством вращения лотка-распределителя устройство обеспечивает равномерное распределение кусков топлива и известняка по поперечному сечению

шахты печи. При этом в процессе загрузки обеспечивается полная герметизация верха печи, так как имеется два обрешиненных попеременно открывающихся клапана. Открытие верхнего клапана и загрузка шихты в межклапанное пространство верхнего бункера осуществляется с одновременным поворотом лотка-распределителя лебедкой скипового подъемника при движении рамы вагонетки вверх через рычаги, ролик и механизм поворота с тросом. Открытие и закрытие нижнего клапана при одновременном срабатывании штангового уровнемера, входящего в комплект поставки, осуществляется отдельным приводом. Такая конструкция, в сравнении с традиционной, позволяет сэкономить два привода и кабельную продукцию. При этом значительно упрощается система автоматизации устройства и повышается его надежность. Устройство унифицировано и устанавливается на печах любой конструкции, производительностью до 150т CaO/сутки. Вес устройства – 2,7т.

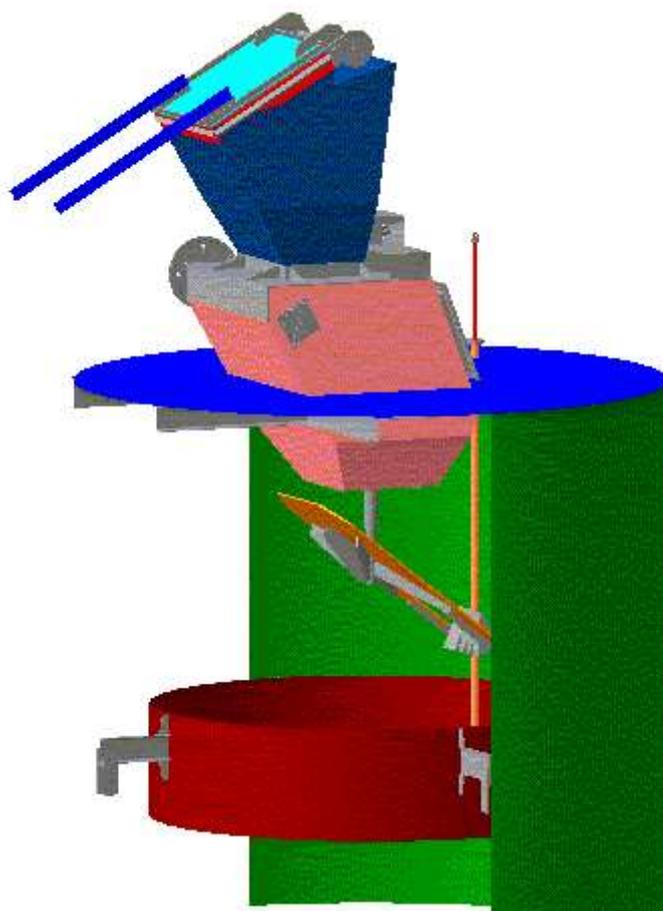


Рис.3.5. Двухклапанное загрузочно-распределительное устройство для известковой печи Ц1-10.

Выгрузочное устройство Ц1-УВР (патент Украины № 5742) предназначено для известковых печей на металлических колоннах, рис. 3.6.

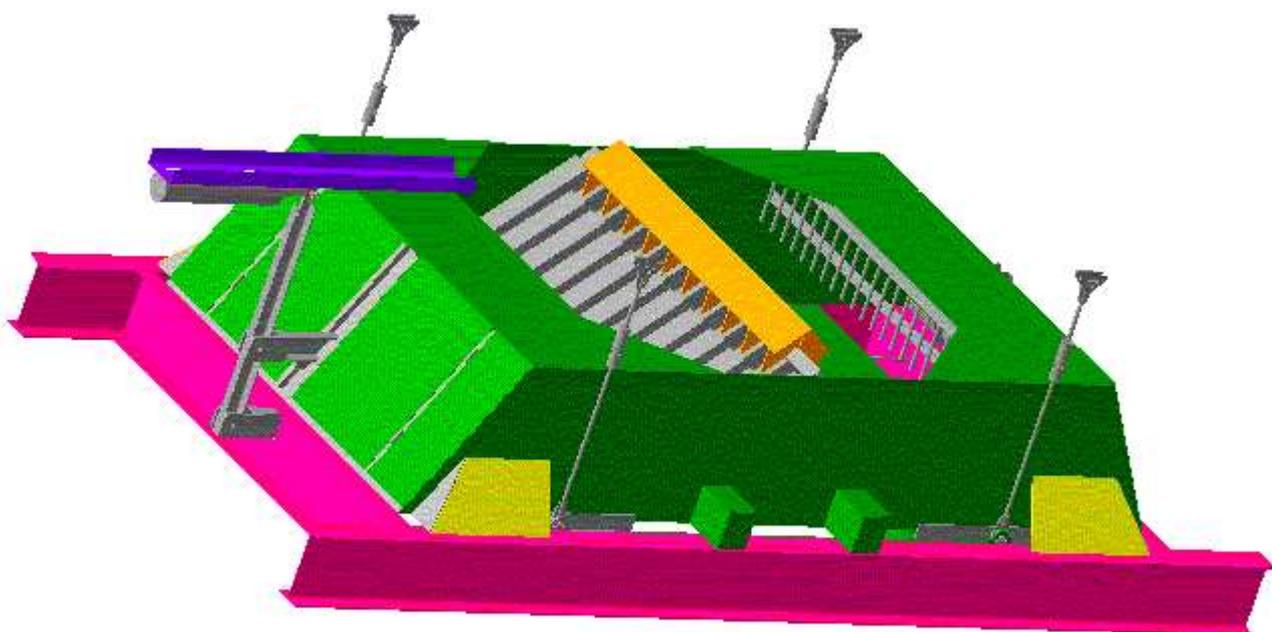


Рис.3.6. Выгрузочное устройство Ц1-УВР для печей на колоннах.

#### Техническая характеристика

Производительность по СаО, т/сутки	20÷150
Длина хода каретки, мм	150
Пределы регулировки времени двойного хода каретки, мин.	0,5÷10,0
Габаритные размеры: длина, ширина, высота, мм	5300×2615×1150
Масса, кг	2820

Конструкция устройства представляет собой опорную призму и расположенную под ней каретку. Призма удерживает вес шихты и передает его через металлоконструкции рамы на фундамент. Кроме того, она обеспечивает равномерный подвод воздуха по сечению шахты печи. Каретка имеет две разгрузочные площадки и закреплена на подвесах через талрепы к металлоконструкциям опорной части печи. Каретка соединена (через рычаги) с пневмоцилиндром, осуществляющим регулируемое возвратно-поступательное движение каретки и выгрузку извести попеременно с каждой из площадок. Устройство закрыто кожухом с четырьмя дверцами. Под кареткой

находится бункер для приема извести. За счет блока автоматики устройство выполняет функции не только выгрузателя извести из печи, но и дозатора ее в гасильный аппарат. В настоящее время в странах СНГ внедрено и успешно эксплуатируется более 50 вышеописанных загрузочных и выгрузочных устройств.

Для печей ИПШ-100, оборудованных морально и физически устаревшими выгрузочными устройствами конструкции Гипростром, ООО «Цукровик» разработано новое выгрузочное устройство (рис. 3.7), которое по конструкции аналогично выгрузочному устройству Ц1-УВР.

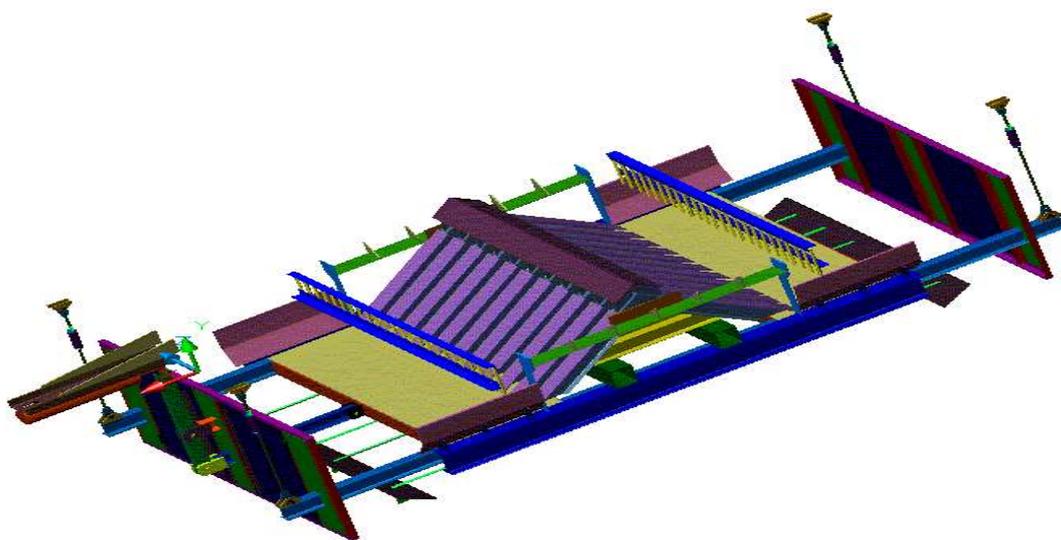


Рис. 3.7. Выгрузочное устройство для печи ИПШ-100.

Сравнительные характеристики старого и нового оборудования представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Наименование показателя	Характеристика устройства	
	старого	нового
Вес выгрузочного устройства с приводом, т	13,5	2,32
Установленная мощность привода, кВт	6,5	0,2
Тип автоматики регулирования производительности	Частотный преобразователь	Электронный блок с электро-пнеumo-преобразователем
Стоимость блока автоматики регулирования, грн.	7000÷1000	700

Устройство два года успешно эксплуатируется в промышленности. Печь ИПШ-100 после установки новых загрузочного и выгрузочного устройств, а также хромитопериклазовой футеровки преобразуется в современную печь производительностью 120 тСаО/сутки. Она может обеспечить технологической известью завод, перерабатывающий до 3200 т свеклы в сутки. Показатели ее работы такие же, как и печей, представленных на рис. 3.8.

Для печей, работающих на жидком и газообразном топливе ООО «Цукровик» так же разработаны новые герметичные загрузочные и выгрузочные устройства.

Есть новые разработки и для печей, работающих под давлением.

### **3.4. Известковые печи конструкции ООО «Цукровик»**

На основе описанных выше основных узлов известковой печи (см. пп. 3.1-3.3) ООО «Цукровик» разработаны новые известковые печи (патент Украины № 7319А). Эти печи предназначены для сахарных заводов мощностью от 2,5 до 6,0 тыс. т свеклы в сутки.

Конструкция и внешний вид печи представлен на рис. 3.8.

Для всех печей конструкции ООО «Цукровик» применяются унифицированные загрузочные и выгрузочные устройства, трехскоростные лебедки грузоподъемностью до 2 т. Опорная часть выполнена на металлических колоннах. Такое конструктивное решение опорной части позволяет устанавливать новые печи на старые фундаменты и экономить значительные средства на земляных и строительных работах по возведению фундаментов и постаментов. Основные технические характеристики новых печей представлены в табл. 3.2.

Печи конструкции ООО «Цукровик» установлены и успешно эксплуатируются на таких сахарных заводах:

- печи производительностью 80 т СаО/сутки: Волоконовский – Россия, Алма-Атинский – Казахстан, Кара-Балтинский – Киргизия, Браиловский и Борщевский – Украина;
- печи производительностью 120 т СаО/сутки: Чернянский, Теткинский – Россия, Жашковский, Городенковский, Котовский, Яреньковский – Украина;

- печи производительностью 150 т CaO/сутки: Валуйковский, Алексеевский, Чернянский – Россия, Ульяновский – Украина.

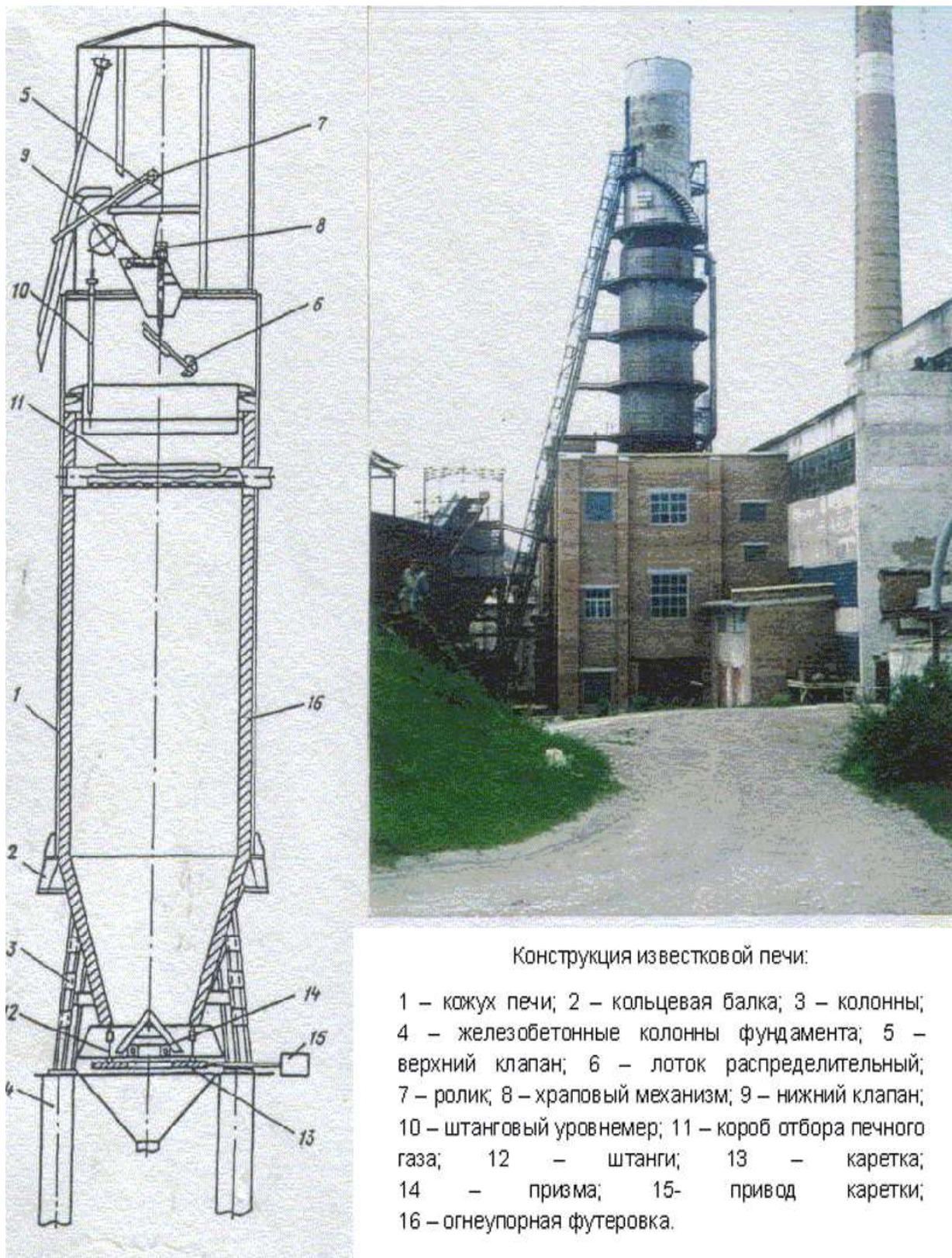


Рис. 3.8. Новые известковые печи конструкции ООО «Цукровик».

**Основные технические характеристики печей  
конструкции ООО «Цукровик»**

Показатель	Мощность завода, тыс. т		
	3,0	4,5	6,0
Диапазон производительности по извести, т СаО/сутки	30÷120	40÷160	70÷240
Диаметр, м:			
кожуха печи	4,7	5,2	6,5
шахты печи	3,9	4,4	5,5
Полезная высота шахты, м	16	18	20
Строительная высота (от уровня установки выгрузочного устройства), м	24	32	40
Масса, т:			
металлоконструкции печи	57,8	60	100
футеровки	155	210	282
Расход условного топлива, кг/т СаО	132÷145	132÷145	132÷145
Концентрация CO <sub>2</sub> в печном газе, %	37÷40	37÷40	37÷40
Время гашения извести, мин.	5÷15	5÷15	5÷15

ООО «Цукровик» работана также методика перевода печей конструкции «Трубострой» с кирпичного постаментa на металлические колонны без демонтажа кожуха печи. Это позволяет устанавливать на такие печи указанные выше загрузочные и выгрузочные устройства и получать новые высокопроизводительные и надежно работающие печи.

### **3.5. Аппарат для приготовления известкового молока «Комплекс»**

Для гашения и очистки известкового молока ООО «Цукровик» разработан аппарат «Комплекс» (патент Украины № 10076). При его использовании все технологическое оборудование известкового отделения может состоять только из печи, аппарата «Комплекс», мешалок и насосов для известкового молока.

Схема аппарата представлена на рис. 3.9.

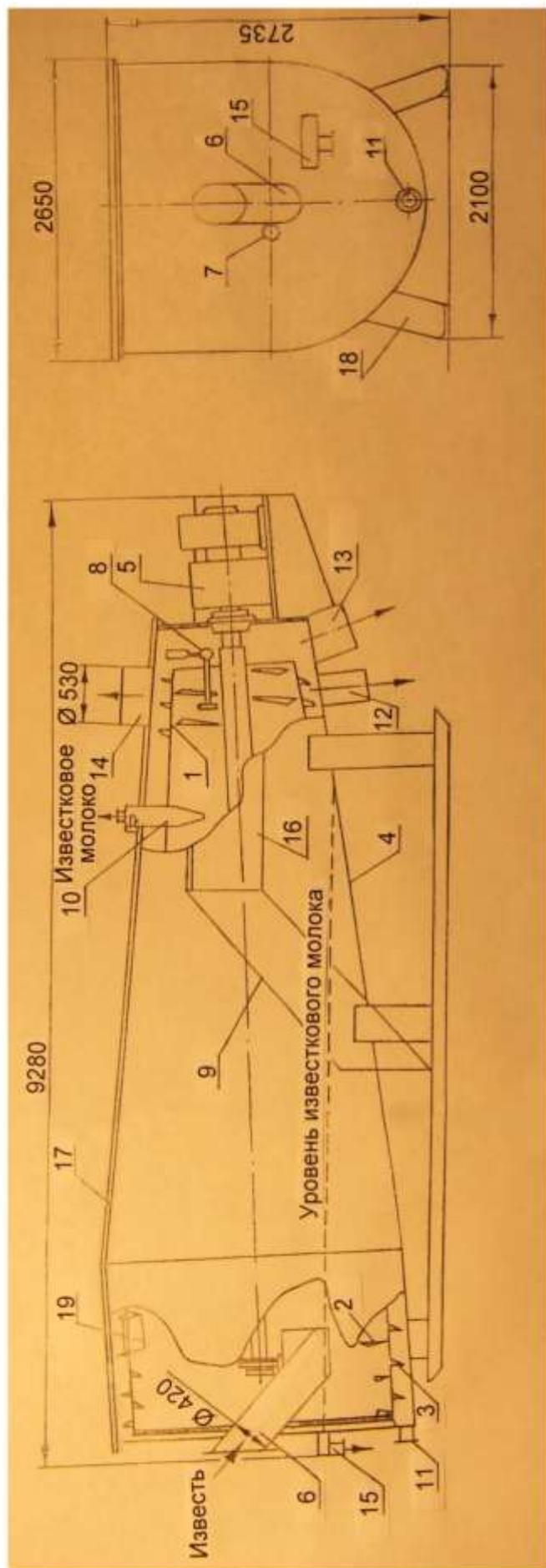


Рис. 3.9. Схема аппарата для приготовления известкового молока "Комплекс".

1 – барабан; 2 - внутренний шнек; 3 - внешний шнек; 4 – корпус; 5 - привод барабана; 6 - подвод извести; 7 - подвод воды; 8 – подача воды на форсунки; 9 – лестница; 10 – гидrocиклон; 11 - окончательный спуск; 12 - течка для мелких отходов; 13 - течка для крупных отходов; 14- выход паровоздушной смеси; 15 - выход известкового молока; 16 - площадка обслуживания; 17 - крышка аппарата; 18 - опорная рама; 19 - ремонтный люк.

## Техническая характеристика аппарата «Комплекс»

Производительность, т СаО/сутки	- 15÷120
Плотность известкового молока, г /см <sup>3</sup>	- 1,15÷1,18
Содержание примесей в молоке после аппарата, г/л	- 3÷11
Содержание СаО <sub>акт.</sub> в молоке, %	- 92÷96
Число оборотов барабана, об./мин.	- 5
Мощность электродвигателя, кВт	- 7,5
Масса аппарата, т:	
пустого	- 11
полного	- 16
Габаритные размеры: длина, ширина, высота, мм	- 9280×2650×2735

Аппарат «Комплекс» совмещает в себе гаситель, гравитационный осадитель примесей и зернистый фильтр, через который фильтруется известковое молоко. Известь гасится во внутреннем барабане и витками транспортируется к отверстиям, через которые молоко с мелкими отходами попадает в пространство между барабаном и корпусом аппарата. Здесь происходит частичное гравитационное разделение молока и примесей. Затем крупные примеси из внутреннего барабана и мелкие примеси из пространства между корпусом и барабаном выходят из-под уровня молока, так как корпус и барабан наклонены к горизонту, и, промываясь водой, удаляются из аппарата разными течками. Молоко под действием напора изменяет направление своего движения и, фильтруясь через слой мелких отходов, в противотоке пространства между шнеком и корпусом поднимается к лобовине аппарата и вытекает через переливную щель в приемный трубопровод. Аппарат «Комплекс» в течение трех лет успешно эксплуатируется на Браиловском и Уладовском заводах Винницкой области и на Наркевичском заводе Хмельницкой области. В России на Волоконовском заводе «Комплекс» используют при переработке сахара-сырца. На Бучачском сахарном заводе Тернопольской области аппарат используется как гравитационный очиститель от мелких примесей. На Браиловском и Уладовском заводах процесс приготовления и очистки известкового

молока полностью автоматизирован. Кроме того, на этих предприятиях используют тензометрические плотномеры и системы автоматического регулирования, разработанные Б.Н. Валовым.

В процессе эксплуатации аппарата «Комплекс» и строительства новых известковых отделений с его использованием выявлены следующие преимущества, по сравнению со стандартными схемами оборудования для гашения и очистки известкового молока:

- аппарат компактен, безопасен, работает без выбросов пара и известковой пыли;
- аппарат обеспечивает высокую степень очистки известкового молока со значительным сокращением продувок дефекосатураторов и сокращением потерь сахара (месячная экономия текущих затрат может достигать 80 тыс. грн.);
- позволяет успешно реконструировать старое известковое отделение малой площади и избавиться от ненужного оборудования, создав нормальные условия для обслуживающего персонала;
- позволяет в короткий срок построить новое компактное отделение значительно меньшей площади, нежели стандартное;
- при полной автоматизации аппарат не нуждается в обслуживании, поэтому возможна его установка вне помещения (Браиловский сахарный завод). Экономия капитальных затрат составляет около 1 млн. грн.;
- аппарат позволяет впервые создать на базе новых отечественных плотномеров известкового молока полностью автоматизированное известковое отделение, обслуживаемое одним человеком.

Однако новая технология гашения и очистки молока в аппарате «Комплекс» имеет и некоторые слабые стороны:

- процесс гашения известкового молока в аппарате очень чувствителен к качеству извести;
- при гашении жесткообожженной извести (не отвечающей требованиям свеклосахарного производства) из аппарата вместе с молоком выходит часть не до конца погасившейся извести-пушонки;

- при низкой температуре воды, подаваемой на гашение, и при наличии повышенного содержания промоя сахара в воде также наблюдается выход вместе с молоком не до конца погасившейся извести–пушонки.

При эксплуатации аппарата в промышленности нами рекомендуется такой режим работы печей, который обеспечивает высокую активность печной извести. Достигается это при соблюдении следующих условий:

- удельная производительность печи – не более 11 т СаО с 1м<sup>2</sup> площади сечения шахты печи в сутки;
- доза топлива в шихте – не более 6,5-6,7%;
- температура воды, подаваемой на гашение, – не ниже 80 °С;.
- промоя при эксплуатации аппарата желательно не применять, так как нет гарантии, что содержание примесей в воде не превысит норму.

## 4. Эксплуатация печи

### 4.1. Растопка печи

Перед растопкой (после кладки футеровки) печь необходимо высушить. Наилучший способ это сделать – проветривание футеровки в теплые летние месяцы. Имеются и другие способы сушки футеровки [14].

Растопку печи рекомендуется производить так:

1. На слой известняка толщиной 200-300 мм, закрывающий металлоконструкции выгрузочного устройства, укладывают дрова твердых пород дерева из расчета 170 кг на 1 м<sup>2</sup> площади поперечного сечения шахты печи. Поверх дров (до уровня в печи) нагружается шихта с нормальной дозой топлива. **Категорически запрещается** грузить поверх дров чистое топливо. В условиях растопки (при длительной неподвижности шихты) это может привести к привару извести и повторной загрузке и растопке печи.

2. Растопку необходимо проводить только на принудительной тяге. Растопка на самотяге запрещена правилами охраны труда. Обычно включают вентилятор и устанавливают минимальную тягу на уровне выгрузочного устройства. Наличие тяги можно проверить по затягиванию внутрь печи любого открытого огня.

3. Открывают дверцы выгрузочных устройств и выливают через каждую из них по 0,5 л дизельного топлива на мелкую щепу и дрова, поджигают топливо и закрывают дверцы. В помещении, где производится растопка, людям находиться запрещено. Этот процесс контролирует один оператор, периодически заходя в помещение и находясь под присмотром другого рабочего.

4. По истечении 10 часов отгружают 200-300 кг извести и догружают печь шихтой до уровня. Далее этот процесс повторяют через каждые 2-3 часа. Через сутки начинают непрерывную загрузку и отгрузку печи.

5. По достижении температуры уходящих газов 60 °С тягодутьевые машины включают, отглушив вентилятор и открыв коммуникацию на них. Производительность печи поддерживают на уровне 20-30 % номинальной. На полную производительность печь выводят постепенно, не менее чем в течение суток.

#### **4.2. Остановка печи**

1. Начинают загрузку печи известняком без топлива. Загружают 20-40 вагонеток при нормальной работе выгрузочного устройства, поддерживая нормальный уровень шихты в печи.

2. Затем печь переключают на отсос газа вентилятором и снижают ее производительность до 10-15 % от номинальной. Уровень в печи поддерживают нормативный, температуру уходящих газов - 100 °С. Когда известняк без топлива дойдет до зоны горения, печь начнет затухать.

3. Далее печь выгружают в течение 3 суток не допуская высокой температуры выгружаемой извести.

#### **4.3. Нормы технологического режима эксплуатации известковых печей**

Оптимальный режим работы печи возможен только при строгом соблюдении нормативных значений параметров, определяющих работу печи. Перечислим эти показатели и укажем их нормативные значения:

- температура уходящего печного газа –  $110 \pm 10$  °С;
- температура выгружаемой извести – до 60 °С;

- доза топлива (процент от массы известняка) – 6,5÷7,0 %;
- степень обжига известняка – 90÷95 %;
- удельная производительность печи – до 11÷12 т СаО с 1м<sup>2</sup> сечения шахты печи в сутки.

Кроме этого, в печи необходимо поддерживать постоянный уровень шихты. Выгрузку печи следует вести непрерывно. Выгрузочное устройство должно обеспечивать равномерный отбор извести по сечению шахты и равномерный подвод воздуха в печь. Интервал стоянки выгрузочного устройства не должен превышать 10-15 мин.

Загрузочное устройство должно обеспечивать равномерное распределение шихты по поперечному сечению шахты печи. В процессе загрузки должна обеспечиваться полная герметизация шахты печи от подсосов воздуха.

Описанные выше условия и составляют главную суть технологического регламента ведения процесса обжига известняка. Остановимся кратко на значении каждого из вышеупомянутых параметров работы печи.

Поддержание нормативных значений **температуры выходящих из печи извести и газа** обеспечивает оптимальное положение зоны обжига по высоте шахты печи. Как отмечалось ранее, любые отклонения температуры от нормативных показателей приводят к снижению всех технико-экономических показателей работы известковой печи [8]. Оценивать положение зоны горения топлива по температуре отходящего газа можно только при наличии забора газа из слоя шихты. Если уровень шихты в печи не удерживается, то температура уходящего печного газа может сильно возрасти и при нормальном расположении зоны горения топлива.

**Доза топлива** в шихте непосредственно связана со **степенью обжига известняка** (доля обожженного известняка во всем известняке, прошедшем через печь). Верхнему значению нормативного показателя степени обжига известняка соответствует верхний показатель дозы топлива в шихте и наоборот. С низкой дозой топлива необходимо работать при плохом качестве карбонатного сырья (наличие большого количества мелких фракций, грязная поверхность известняка, низкое содержание СаСО<sub>3</sub> в известняке), плохом топливе (куски очень мелкие,

либо очень крупные, либо смесь из этих фракций), высокой удельной производительности печи (11-12 т CaO/м<sup>2</sup> в сутки). Хороший обжиг известняка, в этом случае, обеспечивается за счет понижения температуры в зоне горения топлива, что гарантирует получение высокоактивной печной извести. Такая известь содержит мало пережога, что снижает первичную загрязненность известкового молока (после гасителей извести) мелкими примесями. При таком режиме работы печи нагрузка на оборудование системы очистки известкового молока от мелких примесей уменьшается. Оборудование работает эффективнее. Сказанное хорошо иллюстрируется данными [11], приведенными на рис. 4.1.

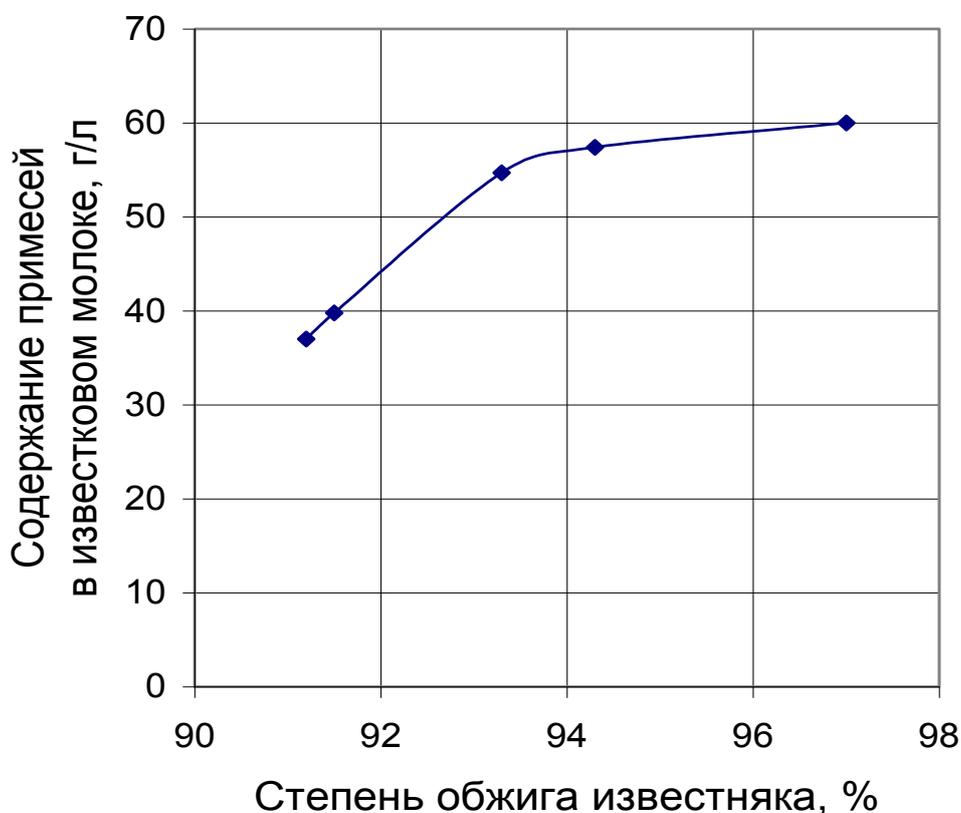


Рис.4.1. Зависимость исходного загрязнения известкового молока примесями от степени обжига известняка.

Из рис. 4.1 видно, что при снижении степени обжига с 97 до 91 % содержание примесей уменьшается с 60 до 37 г/л. Поскольку в удаляемых примесях содержится от 50 до 60 % CaO (неактивной), то с уменьшением их количества снижаются потери извести. Следовательно, при снижении степени обжига выход CaO<sub>акт.</sub> из известкового отделения

41-будет выше. Таким образом, очистку известкового молока от примесей нужно начинать с правильного подбора режима работы печи и, в частности, с оптимизации дозы топлива.

Вопрос выбора правильной дозы топлива, а, следовательно, и оптимальной степени обжига известняка нуждается в дополнительных исследованиях. Но уже сейчас (на основании имеющихся у нас данных) можно утверждать, что оптимальная доза топлива в известняке должна составлять не более 6,5÷6,6 %, а не 7,0 %, как это рекомендуется действующими нормативными документами. Такой вывод находит свое косвенное подтверждение и в технологических регламентах ряда западных свеклоперерабатывающих компаний [12].

Режим работы печи с пониженной дозой топлива рекомендован и при эксплуатации аппарата «Комплекс» (см. п. 3.5). Эффективная работа этого аппарата возможна только при условии, что печная известь отвечает требованиям свеклосахарного производства. Эти требования изложены в работе [4] и представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Качество извести	Характеристика процесса гашения извести	
	Продолжительность, мин.	Максимальная достигаемая температура, °С
Хорошее	Меньше 10	Больше 90
Удовлетворительное	10-15	85-90
Неудовлетворительное	Больше 15	Меньше 85

Рекомендуемой дозе топлива 6,5-6,7 % соответствует степень обжига известняка 90-93 %. Именно такой режим обеспечивает максимальный выход технологической извести ( $CaO_{акт.}$ ) и минимальную исходную загрязненность известкового молока после гасителя. Повышенный выход недопала известняка необходимо дополнительно пересеять через сито 50х50мм и вернуть для повторного обжига в печь. Это позволит повторно использовать до 40 % крупного недопала.

Особо следует оговорить эксплуатацию печей на антраците. Как отмечалось ранее (см. п. 1.2), в этом случае количество кусков антрацита в дозе топлива сокращается примерно в 10 раз по сравнению

с работой на коксе. Следовательно, количество очагов горения по сечению шахты печи также будет меньшим. Условия обжига резко ухудшаются. По сечению шахты печи обжиг становится более неравномерным. В такой ситуации решающую роль будут определять следующие факторы:

- правильный фракционный подбор антрацита и известняка, качественная их подготовка перед загрузкой в печь;
- точное дозирование антрацита и его хорошее перемешивание с известняком в вагонетке скипового подъемника;
- оптимальная работа загрузочно-распределительного устройства.

Мы рекомендуем работать на известняке фракции 50-150 мм с антрацитом 50-100 мм. Шихта, имеющая большие или меньшие размеры, должна быть удалена (дробление с повторным пересевом). Без такой тщательной подготовки загружаемого в печь сырья успеха не будет!

При работе на известняке фракции 40-80 мм и антраците 25-50 мм результаты будут значительно хуже, особенно при слабой предварительной подготовке сырья. Это объясняется, на наш взгляд, повышением температуры в зоне горения топлива и сокращением ее высоты в 2 раза. Ситуация усугубляется и резким ухудшением дозирования топлива. Так, из-за резкого сокращения количества кусков в дозе топлива увеличивается погрешность работы механического весового дозатора. В этом случае следует применять тензометрические дозаторы-перемешиватели (рис. 3.2), перемешиватели (рис. 3.1) и автоматически отсекающие поток топлива заслонки, которые мгновенно срабатывают по сигналу тензодатчика.

Работать с антрацитом значительно сложнее, чем с коксом. Но при тщательной предварительной подготовке шихты, под руководством специалистов и при их авторском надзоре за эксплуатацией печей, можно получать неплохие результаты. ООО «Цукровик» организует выполнение таких работ. Разница в затратах на кокс и антрацит (для завода средней производительности, при длительности сезона более 60 сут.), составляет около 0,5 млн. грн.

Следующий важный параметр - **удельная производительность печи**. Она не должна превышать 11-12 т СаО с 1м<sup>2</sup> сечения шахты печи в сутки. В противном случае появится жесткообожженная известь и

повысится исходная загрязненность известкового молока, а главное – сократится выход из известкового отделения технологической извести. При этом резко возрастет вероятность образования привара шихты к стенке шахты печи с возможной последующей остановкой завода.

#### 4.4. Отклонения от норм эксплуатации и способы их устранения

Остановимся отдельно на наиболее характерных нарушениях режима работы известковых печей и способах их устранения. Для удобства рассмотрения представим их в табл. 4.2.

Таблица 4.2

№ п/п	Нарушения в работе печи	Возможные причины	Способы устранения
1	2	3	4
1	Уровень шихты в печи ниже нормального. Высокая температура отходящего газа. В извести повышенное содержание недопала. Концентрация $CO_2$ понизилась.	Отсутствие уровня шихты в печи. Искусственное сокращение высоты зоны подогрева. Недогрузка шихты до уровня.	Догрузить печь до уровня.
2	На выгрузочном устройстве недопал с перепалом и несгоревшее топливо. Высокая температура отходящих газов и печной извести. Огни в гляделках растянуты по высоте шахты. Содержание $CO_2$ понижено.	Несоответствие средних размеров топлива и известняка. Плохой отсев шихты.	Обеспечить отсев мелочи шихты и соотношение средних размеров топлива и известняка: - для кокса - 1:2; - для антрацита - 1:1.
3	Низкое содержание $CO_2$ , низкое содержание $CO$ , высокое содержание $O_2$ . Тягодутьевые машины не обеспечивают работу печи с прежней производительностью.	Присосы воздуха по печи и тракту отсоса газа до газовых насосов.	Устранить присосы и неплотности.

1	2	3	4
4	Падение содержания $\text{CO}_2$ в печном газе, сопровождающееся увеличением содержания $\text{O}_2$ и $\text{CO}$ (более 2%). На выгрузочном устройстве свары, слипы и темная известь.	Передозировка топлива. Плохой отсев шихты от мелочи и грязи.	Выставить дозу топлива 6,5-7,0 % к массе известняка. Улучшить отсев шихты.
5	Низкое содержание $\text{CO}_2$ в печном газе, высокое содержание $\text{O}_2$ и $\text{CO}$ . Высокая температура уходящего печного газа и извести. В извести много недопала и перепала. По огням в гляделках печи зона горения перекошена.	Перекося зоны горения топлива из-за отказа в работе распределителя шихты или из-за его отсутствия.	Установить распределитель шихты или наладить его работу.
6	Низкое содержание $\text{CO}_2$ в печном газе. Высокая температура отходящего печного газа либо извести. Наличие недопала в извести.	Смещение зоны горения вверх или вниз шахты печи.	Регулировкой производительности тягодутьевых машин и выгрузочного устройства вернуть зону горения на место. Местоположение зоны контролировать по температуре отходящего газа.

Наиболее часто встречающееся нарушение режима работы печи – передозировка топлива. В работе [13] убедительно показано, что передозировка топлива приводит не только к ухудшению работы печи и снижению качества продуктов известкового отделения. При этом ухудшается работа станции дефекосатурации - снижается ее производительность и увеличиваются потери сахара, на что ранее указывалось в работах [6, 7].

Основные показатели работы печи при передозировке топлива представлены на рис. 4.2 [13].

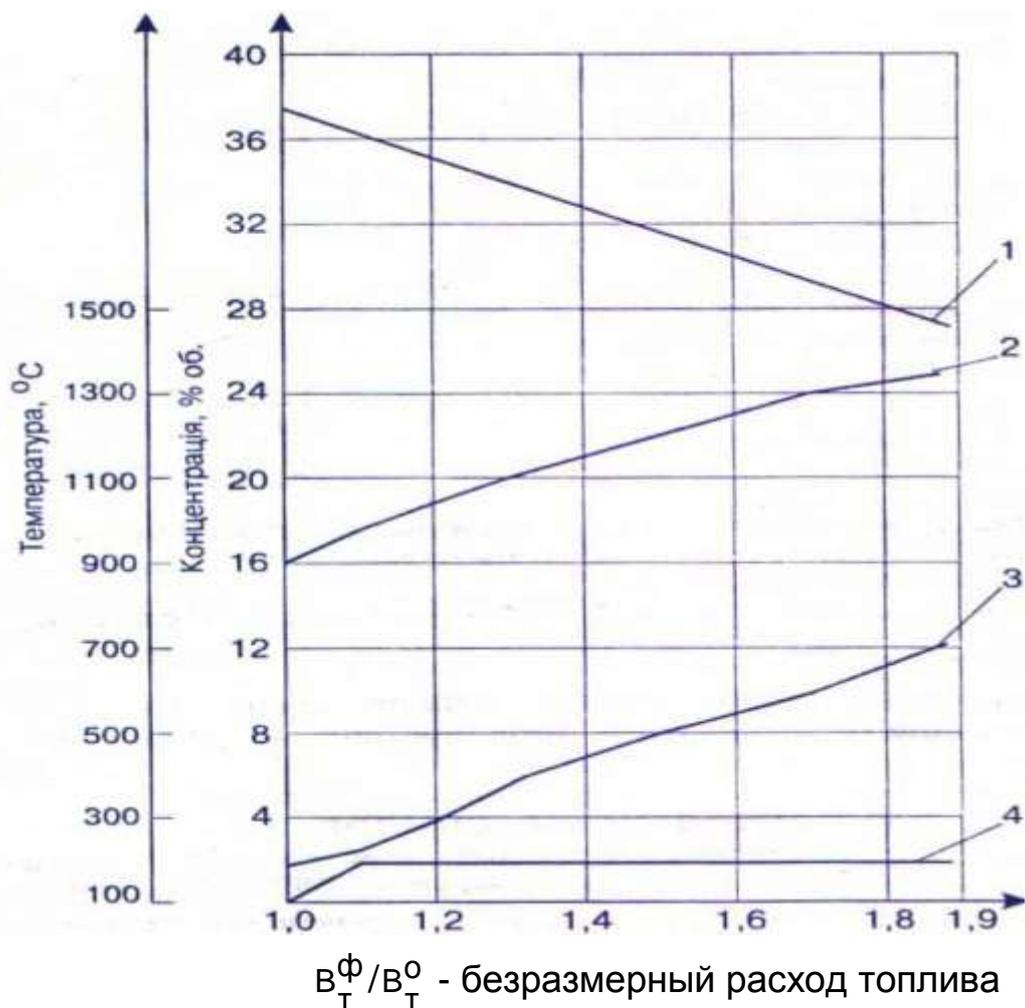


Рис. 4.2. Зависимость основных параметров режима работы печи от расхода топлива:

1 – содержание  $CO_2$  в печном газе, % об.; 2 – температура извести на выходе из зоны обжига, °C; 3 – содержание  $CO$  в печном газе, % об.; 4 – температура газа на выходе из печи, °C.

Эти данные получены на основе экспериментов [10], когда все «сверхнормативное» топливо расходуется на образование  $CO$  и перегрев извести, выходящей из зоны обжига. Как видно из рис. 4.2, передозировка топлива приводит не только к снижению концентрации  $CO_2$  в печном газе, но и к ухудшению всех остальных показателей работы печи. При этом из-за повышения температуры в зоне обжига выход активной извести снижается. Кроме того, по заключению специалистов ООО «Цукровик», именно передозировка топлива явилась основной причиной превышения норм выбросов  $CO$  из сатураторов, что для некоторых предприятий обернулось наложением штрафов государственными природоохранными органами. Можно

предполагать, что такой режим работы печи приведет и к возрастанию в печном газе концентрации окислов азота, выброс которых из сатураторов также нормируется.

А вот недостаточное количество топлива в дозе, подаваемой в вагонетку скипового подъемника, ни к каким отрицательным последствиям не приводит! В этом случае получают «идеальный» печной газ с максимальным содержанием  $\text{CO}_2$  и минимальным содержанием  $\text{CO}$ . Так как обжиг происходит при пониженных температурах, то содержание  $\text{CaO}_{\text{акт.}}$  в печной извести максимальное. Единственное отрицательное последствие – повышенный недопал известняка. Устраняется он повторным пересевом и обжигом этого недопала. Такой режим работы печи экономически целесообразнее и рекомендуется нами для широкого внедрения в практику работы известковых печей сахарных заводов.

#### **4.5. Контроль процесса обжига**

При эксплуатации печи необходимо непрерывно контролировать такие параметры:

- температуру уходящих газов (с записью) и извести;
- уровень шихты в печи (с записью);
- работу поворотного распределителя шихты;
- разрежение в верхней части печи;
- температуру газа перед газовыми насосами.

Периодически следует контролировать:

- полный состав печного газа (не менее 2 раз в смену);
- дозировку топлива и известняка в вагонетку скипа (не реже 1 раза в неделю);
- химический состав известняка и извести (1 раз в декаду);
- время гашения извести (1 раз в сутки);
- размеры шихты и качество ее подготовки (перед растопкой и при изменении режима работы печи).

**Показатели температуры печного газа и уровня шихты в печи** нужно обязательно записывать и анализировать. Это главные параметры режима работы печи. Для аргументации рассмотрим такую производственную ситуацию. Произошло смещение зоны горения. Через

время, равное “обороту” печи, в выгружаемой извести появился недопал. Если факт смещения зоны горения не зафиксирован записью температуры и уровня, то это может привести к принятию обслуживающим персоналом ошибочного решения о необходимости добавления топлива. (Убежденность, что добавка топлива улучшит вышеописанную ситуацию, есть у многих производственников.) При этом они забывают, что, добавив топливо и повысив температуру в зоне обжига, они не только ухудшат качество извести, но, и желаемого результата не достигнут. Поскольку при смещении зоны горения сокращаются размеры «подготовительной» зоны (зоны подогрева или охлаждения) и увеличение температуры теплоносителя не может в полной мере компенсировать эти изменения. Именно по такой схеме на заводах зачастую и передозируют топливо.

В вышеописанной ситуации правильными были бы такие действия обслуживающего персонала. По диаграмме температуры отходящих газов нужно определить, когда произошло смещение зоны горения и сколько времени оно длилось. Затем к этому времени необходимо добавить “оборот” печи и, ничего не изменяя, подождать восстановления режима работы печи. При возврате зоны горения в нормальное положение по высоте шахты печи недопал через некоторое время прекратится сам.

Запись уровня шихты в печи необходима потому, что при отсутствии уровня шихты в печи температура уходящего печного газа уже не связана однозначно с местоположением зоны горения. Печь становится неуправляемой по параметру «температура уходящего печного газа».

Периодически необходимо определять **производительность печи** по CaO, как абсолютную, так и удельную. Порядок расчетов такой:

1. Определяем массу известняка, загружаемого в печь за сутки ( $V_{\text{изв}}$ ):

$$V_{\text{изв}} = g \cdot n, \text{ т/сутки} \quad (2)$$

где:  $g$  - масса известняка в вагонетке, т;

$n$  - количество вагонеток, загруженных в печь за сутки.

2. Взвешиваем количество отходов известкового отделения, полученных за сутки ( $O_{\text{изв}}$ ).

3. Определяем массу известняка, использованного для получения CaO ( $A_{\text{изв}}$ ):

$$A_{\text{изв}} = V_{\text{изв}} - O_{\text{изв}}, \text{ т/сутки} \quad (3)$$

4. Определяем суточную производительность печи по CaO ( $A_{\text{CaO}}$ ):

$$A_{\text{CaO}} = \frac{A_{\text{изв}} \cdot x_{\text{CaCO}_3}}{100 \cdot 1,786}, \text{ т CaO/сутки} \quad (4)$$

где:  $x_{\text{CaCO}_3}$  - содержание  $\text{CaCO}_3$  в известняке (принимается в соответствии с сертификатом на известняк), %;

1,786 - стехиометрический коэффициент перевода  $\text{CaCO}_3$  в CaO.

5. Определяем удельную суточную производительность печи по CaO ( $a_{\text{CaO}}$ ):

$$a_{\text{CaO}} = \frac{A_{\text{CaO}}}{F}, \text{ т CaO}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки}) \quad (5)$$

где: F - площадь поперечного сечения шахты печи в месте расположения зоны горения,  $\text{м}^2$ .

В процессе эксплуатации необходимо строго следить, чтобы величина  $a_{\text{CaO}}$  не превышала 11-12 т CaO/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки}). В противном случае производительность печи по активной CaO снизится, а при дальнейшем негативном развитии ситуации возможна остановка печи из-за привара извести к футеровке шахты печи.

**Температуру газа** перед тягодутьевыми машинами также следует контролировать постоянно. Она не должна превышать 30-40 °C. В противном случае производительность водокольцевых насосов (типа ВК, ВГК, ВВН) снизится и, соответственно, уменьшится производительность известкового отделения по извести и газу.

**Контроль качества извести и печного газа** осуществляют раз в сутки. Время гашения извести определяют в соответствии с методикой, изложенной в работе [4]. Известь считается непригодной для использования в технологии свеклосахарного производства, если время

ее гашения превышает 15 мин., а температура гашения составляет менее 85 °С (см. табл. 4.1). В этом случае необходимо изменить режим работы печи и получить мягкообожженную известь. Обычно это достигается снижением дозы топлива и уменьшением удельной производительности печи.

**Анализ состава печного газа** состоит в определении концентрации  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}$ . Выполняется он при помощи прибора КГА-1 (комплект для газового анализа). При хорошей работе печи состав газа следующий:  $\text{CO}_2$  – 34-38 %;  $\text{O}_2$  – 2-4 %;  $\text{CO}$  – до 1%; остальное – азот. Увеличение содержания  $\text{O}_2$  свыше 5 % свидетельствует о неплотностях печи и газового тракта. Повышение концентрации  $\text{CO}$  свыше 2% подтверждает передозировку топлива. Рост содержания  $\text{CO}$  до 5-6 % свидетельствует о начале в печи процесса «козлообразования». То есть, без наличия данных газового анализа контролировать и регулировать работу печи невозможно.

#### 4.6. Анализ работы печей по составу газа

Эффективность работы печи определяется качеством продуктов обжига известняка - извести и печного газа. Чем выше концентрация  $\text{CO}_2$  в печном газе и чем больше содержание  $\text{CaO}$  в извести, которая гасится водой, тем печь работает лучше. Для печей, оборудованных современными загрузочными и выгрузочными устройствами и обеспеченных правильно подобранным и хорошо подготовленным сырьем, работа сводится, в основном, к корректному подбору дозы топлива. Оптимальный режим работы печи, как правило, достигается при расходах 130÷150 кг условного топлива (у. т.) на 1 т  $\text{CaO}$ . Причем, чем ниже доза топлива, тем выше качество продуктов обжига известняка.

При полном сгорании топлива (при  $\alpha=1$ <sup>1)</sup> и без образования  $\text{CO}$ ) и отсутствии присосов воздуха к печному газу имеет место однозначная зависимость между расходом топлива на получение  $\text{CaO}$  и содержанием  $\text{CO}_2$  в печном газе: чем выше расход топлива, тем ниже концентрация

---

1)  $\alpha$  - коэффициент избытка воздуха, который характеризует отношение действительного количества воздуха, поданного в печь для горения топлива, к теоретически необходимому количеству воздуха (для полного сгорания топлива).

CO<sub>2</sub>. Наличие такой зависимости позволяет по составу печного газа проводить анализ работы печей и делать однозначный вывод об эффективности их работы. Содержание CO<sub>2</sub> в печном газе при вышеуказанных условиях называется «бескислородным» (CO<sub>2</sub><sup>Б</sup>).

На практике такие процессы как неполное сгорание топлива, образование CO, присосы воздуха к печному газу имеют место. В этом случае концентрация CO<sub>2</sub> уже не будет однозначно связана с расходом топлива. Поэтому для проведения анализа работы реально работающей печи фактический состав газа нужно привести к составу, который получился бы при условии его полного сгорания с коэффициентом избытка воздуха α=1 и без присосов воздуха, но при том же количестве топлива. То есть, реальное содержание CO<sub>2</sub> в печном газе нужно привести к бескислородному. Для этого в полученном из печи газе расчетным путем «дожигают» CO. На него «используют» часть кислорода, содержащегося в печном газе. Затем из газа «удаляется» оставшийся воздух. Более подробно все эти рассуждения изложены в работе [9]. Смысл их заключается в том, чтобы определить содержание CO<sub>2</sub><sup>Б</sup> для реально работающей печи. Пересчет CO<sub>2</sub> из реальной печи в CO<sub>2</sub> бескислородный производится по формуле [9]:

$$CO_2^B = CO_2 \cdot \frac{21}{21 - O_2}, \% \quad (6)$$

где: CO<sub>2</sub><sup>Б</sup> - «бескислородное» содержание CO<sub>2</sub> в печном газе реально работающей печи, %;

CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> - фактическое содержание CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в составе печного газа реально работающей печи, %.

Если содержание CO в печном газе не превышает 2%, погрешность расчета по формуле (6) составляет не более 2% [9], и в подавляющем большинстве случаев эта формула применима на практике. Если же концентрация CO в печном газе выше 2 %, следует воспользоваться другой, более сложной формулой, приведенной в работе [10].

Таким образом, по показателю CO<sub>2</sub><sup>Б</sup> можно сравнивать работу различных печей. Та печь, у которой этот показатель будет выше и работающая с меньшим расходом топлива, эффективнее. По формулам, изложенным в работах [9, 10], построена номограмма (рис.

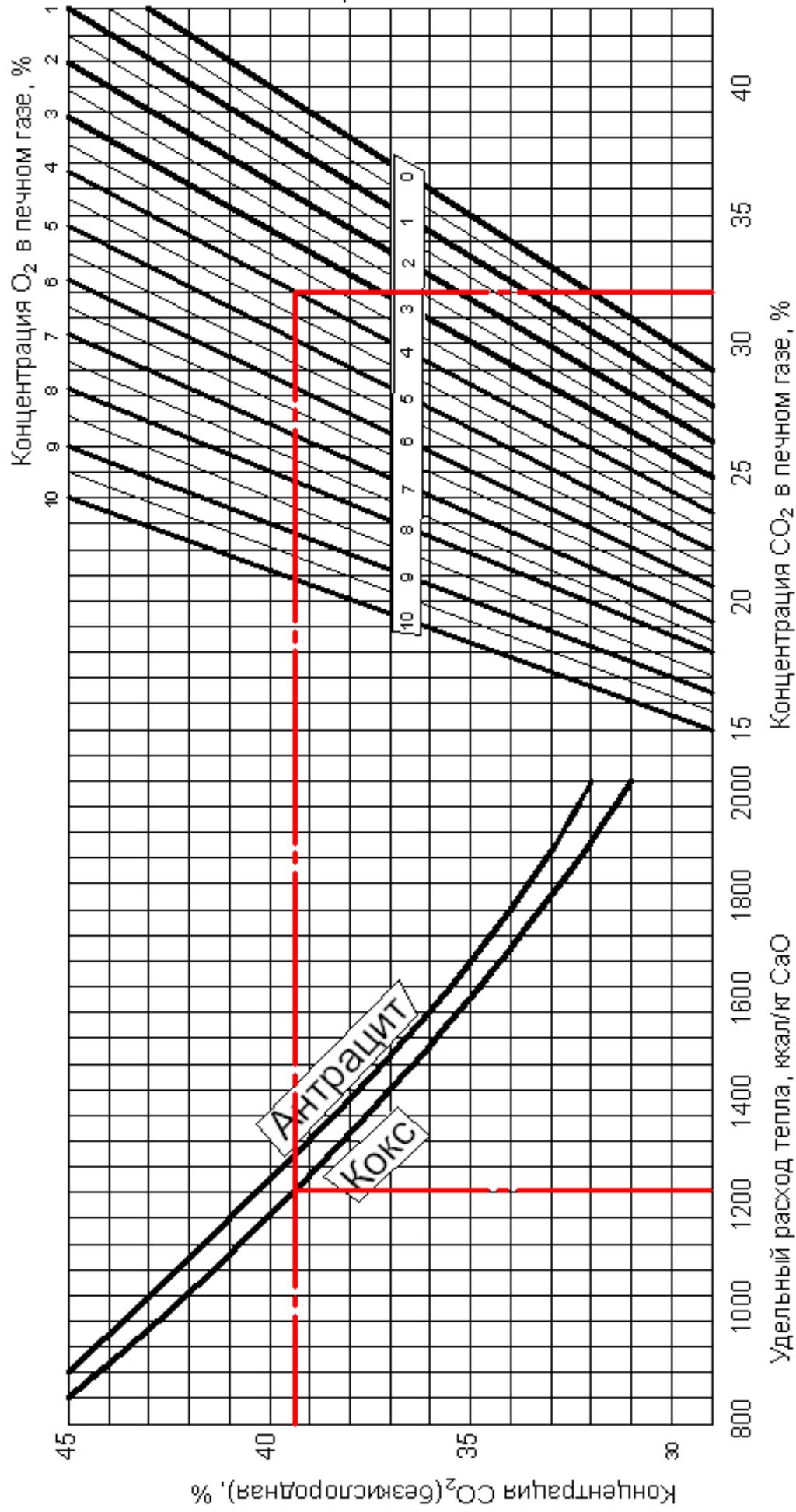


Рис. 4.3. Номограмма для определения расхода тепла на обжиг известняка

4.3), позволяющая определить расход тепла на получение 1 кг CaO по составу печного газа. Пользоваться номограммой следует так:

- на оси абсцисс находят значение  $\text{CO}_2$ , соответствующее его реальному содержанию в печном газе;
- от найденного значения  $\text{CO}_2$  поднимаются вертикально вверх до пересечения с кривой, соответствующей реальному содержанию  $\text{O}_2$  в печном газе;
- затем двигаются горизонтально до пересечения с кривой расхода тепла;
- перпендикуляр, опущенный из этой точки на ось абсцисс, укажет удельный расход тепла на получение CaO;
- горизонтальная прямая, продленная из этой точки до пересечения с осью ординат, укажет величину  $\text{CO}_2^{\text{Б}}$ .

Зная расход тепла, легко определить расход топлива на получение 1 кг CaO:

$$K_T^p = \frac{Q}{Q_H^p}, \quad (7)$$

где:  $K_T^p$  - удельный расход топлива на получение CaO, кг у. т./кг CaO;

$Q$  - удельный расход тепла на получение CaO, ккал/кг CaO;

$Q_H^p$  - низшая теплота сгорания топлива, ккал/кг (принимается по справочнику в зависимости от вида топлива).

Наглядность сравнительного анализа работы печей по  $\text{CO}_2^{\text{Б}}$  рассмотрим на конкретном примере. В табл. 4.3 представлены результаты анализов состава печного газа трех разных печей (содержание CO в печном газе не приводится с целью упрощения примера).

Если оценивать работу печей традиционно, по концентрации  $\text{CO}_2$ , то кажется, что наилучший режим работы у печи № 1, а наихудший – у печи №2. Но если воспользоваться номограммой (рис. 4.3), то выяснится, что печи №1 и №2 работают одинаково, только у печи №2 большие присосы воздуха. Хуже всех работает печь № 3, так как показатель  $\text{CO}_2^{\text{Б}}$  у нее самый низкий, а расход топлива самый большой. К таким же выводам можно прийти и не имея номограммы. Для этого необходимо пересчитать данные табл. 4.3 по формуле (6). Таким образом, для оценки

Таблица 4.3

№ печи	Содержание компонентов в печном газе, %	
	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
1	33	3,0
2	25	7,5
3	29	4,0

работы печи нужно располагать данными о полном составе печного газа, а не только о содержании CO<sub>2</sub>, как это делается на большинстве сахарных заводов. Для этого, как указано в нормативных документах по контролю ведения процесса свеклосахарного производства [4], на заводе необходимо иметь комплект КГА-1<sup>1)</sup> для выполнения газового анализа печного газа и систематически проводить такой анализ.

С момента выхода работ [9, 10], в которых впервые было описано пользование номограммой (рис. 4.3), прошло уже более 20 лет. Однако, к большому сожалению, практика оценки работы печей по составу печного газа так и не прижилась на сахарных заводах Украины. А ведь это одна из причин постоянных перерасходов топлива и известняка и главный источник всех нарушений режима работы печей.

Имеется еще один веский довод, подтверждающий необходимость наличия на заводе полного анализа состава печного газа. Для предприятий сахарной отрасли Украины разработаны и внедрены нормы выброса вредных веществ (CO<sub>2</sub>, CO, окислов азота) из сатураторов. Источник образования этих газов – известковая печь. Без наладки режима работы печи, которая проводится по составу печного газа, невозможно добиться соблюдения санитарных норм на выбросы. Ряд заводов уже оштрафованы государственными природоохранными органами за превышение санитарных норм. Известны попытки даже приостановить работу завода до устранения выбросов.

---

1) Комплект КГА-1 выпускается в России (г. Клин Московской обл.) и в Украине имеется в магазинах «Химлабреактив».

## 5. Приготовление известкового молока

### 5.1. Гашение извести

Гашение извести – экзотермический процесс, сопровождающийся выделением тепла:



Скорость гашения извести зависит от следующих факторов:

- температуры воды, подаваемой на гашение. Чем выше температура воды, тем быстрее идет процесс. Этот фактор наиболее значимо влияет на скорость гашения, поэтому в эксплуатационных условиях он является важнейшим;

- размера кристаллов CaO. Чем они меньше, тем известь активнее, процесс гашения идет быстрее, меньше мелких примесей в исходном молоке после гасителя. Это второй по значимости фактор (после температуры воды). Поэтому обжиг извести нужно вести на малых дозах топлива, чтобы снижать температуру в зоне обжига и получать высокоактивную мелкокристаллическую известь;

- наличия в продуктах гашения гипса, MgO, а также глюкозы патоки или мелассы (при гашении извести промоями после промывки осадка с вакуум-фильтров). Все перечисленные вещества снижают скорость реакции. Так, использование 1 % раствора сахара замедляет процесс гашения в 6,5 раз, в сравнении с гашением чистой водой. При ограниченном времени пребывания извести в гасителе (до 15 минут) это может привести к снижению концентрации CaO в молоке. Кроме того, в процессе гашения происходит частичное разложение сахарозы;

- наличия поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые замедляют процесс гашения;

- размера кусков извести. Чем они меньше, тем больше поверхность реагирования, тем активнее идет процесс гашения. Молотая известь гасится быстрее, чем кусковая;

- от времени и условий хранения извести. Свежеобожженная известь гасится быстрее, чем длительно хранящаяся.

---

1)  $\Delta H^\circ$  - теплота, поглощенная в реакции взаимодействия CaO и H<sub>2</sub>O с образованием 1 моля Ca(OH)<sub>2</sub> при стандартных условиях. Поскольку в реакции теплота выделяется, значение  $\Delta H^\circ$  отрицательное.

## **5.2 Требования, предъявляемые технологией свеклосахарного производства к известковому молоку**

Научно обоснованных требований к степени очистки известкового молока и, отчасти, к его качеству, пока нет. Считается, что чем меньше примесей содержит молоко – тем лучше. Но, с другой стороны, чем глубже очистка, тем выше затраты на ее осуществление и тем большие потери активной СаО с отходами из аппаратов тонкой очистки. Необходимо выполнить технико-экономическое обоснование и установить, что для предприятий предпочтительнее: дополнительные затраты на глубокую очистку известкового молока и повышенные потери СаО с мелкими отходами, либо частичный износ оборудования станции дефекосатурации (из-за наличия примесей в молоке) и потери сахара с дополнительными продувками. Вопрос, сколько должно быть примесей в молоке, пока остается открытым.

Системы очистки, эксплуатируемые на сахарных заводах Украины, обеспечивают содержание твердых примесей в известковом молоке в пределах 10-15 г/л (при хорошей работе гидроциклонов). Исключение составляют только технологические схемы, в которых используется аппарат «Комплекс». Опыт эксплуатации этих аппаратов (на четырех сахарных заводах в течение трех производственных сезонов) показал, что в режиме получения мягкообожженной извести среднее содержание примесей в молоке составляет от 3 до 11 г/л.

Что касается поддержания стабильной плотности известкового молока, подаваемого в сок, а также численного значения этой величины, то тут технологические требования формулируются более четко. Плотность известкового молока должна быть стабильной, чтобы его, во избежание перерасхода, можно было точно дозировать в сок. Разбавленное водой известковое молоко обуславливает повышенный расход тепла на выпаривание воды из сока. Поэтому чем стабильнее поддерживается его плотность и чем она выше, тем лучше. При этом следует учитывать, что при чрезмерном повышении плотности известковое молоко становится нетекучим.

Свойства известковой суспензии, гидратация извести и кинетика ее гашения в данной работе не рассматриваются. Подробнее с этими процессами можно ознакомиться в работах [10,15]. Однако анализ этих процессов и особенностей технологии углекислотной очистки соков

позволяет сформулировать требования свеклосахарного производства к известковому молоку:

- содержания СаО в молоке должно быть: нижний предел - не менее 22%, что соответствует плотности 1,18 г/см<sup>3</sup>; верхний предел плотности должен быть таким, чтобы обеспечивалась текучесть известкового молока при его дозировании в сок;
- плотность известкового молока должна быть постоянной. Это позволяет обеспечить правильное ведение процесса очистки соков, а также автоматизировать его;
- температура известкового молока должна быть такой же, как и у сока (80-90 °С);
- количество непогасившихся примесей размером более 0,3 мм должно быть минимальным. Эти примеси, осаждаясь в аппаратах дефеко saturации, изнашивают их и увеличивают потери сахара при продувках;
- содержание СаSO<sub>4</sub> в молоке должно быть минимальным;
- использовать промочи при гашении извести нежелательно. Это может привести к значительному падению содержания СаО в известковом молоке. То же относится и к поверхностно-активным веществам. Гасить известь лучше чистой водой.

На основе вышеизложенного кратко сформулируем рекомендации, которых следует придерживаться при приготовлении известкового молока:

- гасить известь необходимо чистой водой с температурой 80 °С;
- время гашения извести (время пребывания извести в гасителе) не должно превышать 15 мин.;
- известковое молоко следует очищать от непогасившихся частиц размером более 0,3 мм;
- плотность молока должна быть стабильной и не менее 1,18 г/см<sup>3</sup>;
- содержание примесей СаSO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, SiO<sub>2</sub>, отрицательно влияющих на скорость гашения, должно быть минимальным.

### 5.3. Гасители извести

На сахарных заводах известковое молоко получают во вращающихся барабанных гасителях, куда изначально подается известь и горячая вода. Так как молоко должно иметь стабильную и высокую плотность, то аппараты должны быть оборудованы дозаторами подачи извести и автоматикой, обеспечивающей поддержание оптимального соотношения «известь-вода». Во избежание загрязнения известкового молока частичками недопала (частички образуются в результате истирания извести при ее транспортировании вдоль аппарата), их следует своевременно удалять. То есть, аппарат должен быть оборудован устройством непрерывной выгрузки недопала. Кроме того, гаситель должен иметь аспирационные устройства. (Реакция взаимодействия  $\text{CaO}$  с  $\text{H}_2\text{O}$  сопровождается выделением тепла, значительная часть которого расходуется на испарение воды. В результате при гашении 1т  $\text{CaO}$  образуется около 300 кг пара. Пар уносит из аппарата частички извести и при попадании в аппарат, вместе с известью, топлива в гасителе образуется  $\text{CO}$ ).

Значительная часть сахарных заводов Украины оснащена гасителями типа АИ-1,8, которые не имеют вышеперечисленных устройств. То есть, этот аппарат не может обеспечить стабильную плотность молока, его чистоту и нормальные санитарно-гигиенические условия в известковом отделении. Кроме того, в процессе отделения от молока твердой фракции размером  $\geq 5$  мм (на сите этого аппарата), имеют место потери  $\text{CaO}$ . Величина этих потерь, по данным [10], составляет до 1,5 % от всего произведенного  $\text{CaO}$ . Поэтому аппараты типа АИ-1,8 необходимо либо модернизировать, либо заменить.

Модернизировать и автоматизировать гаситель АИ-1,8 можно на основе разработок ООО «Цукровик» и Б.Н. Валового. Так, роль дозатора подачи извести в аппарат может выполнять выгрузочное устройство известковой печи Ц1-УВР (представлено на рис. 3.6). Это устройство хорошо регулируется по производительности. Более того, положение позиционера производительности агрегата Ц1-УВР можно увязать с расходом воды, подаваемой на гашение, и по этому принципу автоматизировать процесс гашения. Такое решение успешно использовано Б.Н. Валовым при автоматизации аппаратов «Комплекс». Кроме того, ООО «Цукровик» разработана конструкторская

документация на конденсатор и аспирационную систему удаления пыли и неконденсирующихся газов из гасителя. Документация разработана для условий изготовления такого оборудования непосредственно на сахарных заводах. Примеры успешной эксплуатации этой разработки в промышленности уже есть.

Гасители типа РЗ-ПГА, АИ-2,0-4,5 и АИ-2,5-6,0, разработанные УкрНИИСП для сахарных заводов мощностью 3,0; 4,5; 6,0 тыс. т переработки свеклы в сутки, вышеуказанных недостатков не имеют. Эти гасители оборудованы регулируемой подачей извести и воды, устройствами непрерывной выгрузки недопала. Кроме того, гасители снабжены цилиндрическими грохотами с диаметром отверстия 10 мм, что позволяет снизить потери СаО с отходами из гасителя с 1,5 до 0,4 % к массе СаО, загружаемой в аппарат [10].

#### **5.4. Очистка известкового молока от непогасившихся примесей**

Содержание непогасившихся частиц в известковом молоке, направляемом транспортной системой гасителя к выходу из аппарата, колеблется от 15 до 25 % к массе печной извести. Крупный недопал размером от 5-10 мм до 150-200 мм отделяется на сите гасителя. Очистка от частиц размером 1-10 мм происходит под действием сил тяжести в аппаратах отстойного типа.

Принцип работы аппаратов отстойного типа следующий: поток известкового молока вводится с одной стороны пескоотделителя (обычно со стороны выгрузки отходов), проходит через всю его емкость, в которой под действием гравитационных сил осаждаются твердые частицы и затем молоко выходит с другой стороны аппарата. Осевшие частицы продвигаются транспортной системой аппарата навстречу потоку известкового молока и удаляются выгрузочным механизмом. В этих очистных устройствах, работающих по принципу отстоя, происходит массовое осаждение твердой фазы, куда одновременно осаждаются и коллоидно-дисперсные частицы [10]. Поэтому вместе с отходами из аппарата выводится часть основного продукта – СаО.

Необходимо также отметить, что чем выше плотность известкового молока, тем ниже эффект его очистки, тем больше отмечается механических поломок аппаратов. Изменение скорости и направления потока, а также времени пребывания молока в аппарате существенно на

процесс не влияют. Эффективность очистки известкового молока остается низкой, в пределах 50-60% [10]. Потери СаО составляют от 45 до 50 % к массе отходов (см. табл. 5.1). Эти данные полностью совпадают с показателями работы аналогичного оборудования, используемого при обогащении руд [16].

Более подробно с конструкциями аппаратов, принцип работы которых основан на осаждении твердых частиц под действием гравитационных сил (песколовушки Русселя-Дорошенко, чашевый пескоотделитель, речный классификатор, аппарат лабиринтного типа), можно ознакомиться в работах [10,15]. Отметим только, что из аппаратов этого типа в сахарной промышленности Украины наибольшее распространение получили песколовушки Русселя-Дорошенко и их различные модификации. Такими устройствами оснащено более 70% предприятий. В попытках повысить эффект очистки известкового молока песколовушки включают последовательно. В этом случае очистка происходит в первом по потоку молока аппарате, из второго отходы практически не выгружаются и как очиститель он не работает. В конечном результате желаемого повышения эффекта очистки известкового молока нет.

Мы считаем, что вышеперечисленные аппараты отстойного типа физически и морально устарели. В силу своего несовершенства и низких показателей работы они должны быть заменены более совершенным оборудованием.

Высокая эффективность очистки известкового молока от частиц размером 1-10 мм может быть достигнута при использовании вибросит. Рассмотрим принцип очистки в этих аппаратах. В процессе грохочения слой продукта на вибросите становится неоднородным. Внизу слоя, у поверхности сита, скапливаются мелкие фракции, а в верхней части слоя – крупные частицы. То есть, к поверхности сита собираются частицы значительно меньшего размера, чем отверстия сита и процесс прохождения продукта через сито ускоряется и становится подобным процессу протекания воды [16]. Частицы, размер которых больше отверстия сита, полностью отделяются от известкового молока. При этом за счет вибрации и встряхивания продукта от крупных частиц отделяются коллоидно-дисперсные частицы СаО, и потери основного продукта с отходами, сравнительно с потерями на аппаратах отстойного типа, значительно сокращаются. Эффект очистки известкового молока

на вибросите составляет до 98%, а потери СаО в отходах – до 10 % к массе отходов.

Сравнительные характеристики основных конструктивных и эксплуатационных показателей вибросит и аппаратов отстойного типа представлены в табл. 5.1, взятой нами из работы [10]. Это сопоставление свидетельствует, что по всем параметрам вибросита значительно превосходят отстойники и на сегодняшний день являются самыми эффективными аппаратами для очистки известкового молока от частиц размером 1-10 мм. Это, в частности, подтверждает опыт работы зарубежных сахарных заводов, где вибросита распространены очень широко.

Таблица 5.1.

Сравнительные характеристики отстойных и вибрационных пескоотделителей известкового молока

№ п/п	Наименование показателя	Отстойники	Вибросита
1	Размер отделяемых частиц, мм	1-10	1-10
2	Эффект очистки известкового молока, %	50-60	95-98
3	Содержание СаО в отходах, % к массе отходов	45-50	10
4	Потери СаО в известковом отделении при непромывке отходов из аппаратов, % от производительности известкового отделения	3	0,5-1
5	Удельная нагрузка на аппарат: по молоку, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч) по отделяемому продукту, т/( м <sup>2</sup> ·ч)	1,3 0,06	40 1,3
6	Потребляемая мощность, квт x час	6,4	0,6
7	Металлоемкость, кг	9000	500
8	Рабочая площадь, м <sup>2</sup>	22	0,7-0,9

Несмотря на свои явные преимущества, в сахарной отрасли Украины вибросита не получили такого широкого распространения, как пескоотделители отстойного типа. Они установлены не более чем на 30 % предприятий. Объясняется это рядом причин, в т. ч. и наличием

хлопот с виброситами, которых с аппаратами отстойного типа нет:

- в период эксплуатации сетку вибросита 1-2 раза в неделю нужно чистить вручную стальной щеткой от 3 до 10 минут;
- срок службы сетки составляет 1-2 сезона, затем ее нужно менять;
- ежесезонно необходимо проводить ремонт и ревизию вибросит, суть которых заключается в замене вала и пружин.

Используя отечественный и зарубежный опыт, ООО “Цукровик” разработал к сезону 2004 года новое упрощенное и эффективное вибросито и приступает к его производству. Ищем сахарный завод, готовый приобрести по себестоимости первый опытный образец вибросита и провести его испытания. Все работы по установке, наладке и испытаниям вибросита будут производиться с участием специалистов ООО “Цукровик” бесплатно.

Надеемся, что данная работа обратит внимание работников сахарных заводов на неэффективность использования отстойников.

Очистка от частиц размером 0,3-1мм осуществляется в поле гравитационно-центробежных сил, когда центробежные силы во много раз превышают силу тяжести. Для этого используют гидроциклоны, в которых центробежные силы создаются за счет вводимого в аппарат потока продукта. Центробежный фактор разделения известкового молока и твердых частиц определяется как отношение массы частицы в центробежном поле к ее массе в поле силы тяжести. При подаче известкового молока в гидроциклон с давлением до 0,25 МПа численное значение этого фактора может достигать 100.

Несмотря на то, что в гидроциклонах не происходит агломерации частиц, как в отстойниках, но солидарное осаждение частиц здесь все же присутствует. Поэтому потери СаО с отходами после гидроциклонов так же велики, как и в отстойниках, и с учетом очень большой поверхности отходов, достигают 50-60 % от массы отходов (см. табл. 5.2).

Не останавливаясь на конструкции гидроциклонов, отметим основные особенности этих аппаратов, влияющие на технологические показатели очистки известкового молока. Для того, чтобы потери СаО с отходами были минимальными, а качество очистки – хорошим, соотношение диаметров выходного сопла для отходов и сливного

патрубка для известкового молока должно составлять  $0,3 \div 0,4$ . При этом скорость потока известкового молока на входе в гидроциклон должна составлять 10 м/сек [10]. Для более полного отделения мелких фракций вышеуказанное соотношение должно быть увеличено до 0,5-0,7, но при этом потери СаО с отходами возрастут. То есть, в этом случае понадобится более тщательная промывка отходов.

Эффективную очистку известкового молока гидроциклон может обеспечить только в том случае, если продукт подается в аппарат непрерывно, а его расход будет высоким и стабильным. Поэтому для обеспечения надежной работы гидроциклоны необходимо включать в рециркуляционный контур: мешалка грязного молока после второй степени очистки – насос – гидроциклон – мешалка чистого молока. При перебоях в подаче известкового молока, вызванных колебаниями производительности сахарного завода, такая схема позволяет избежать забивания выходного сопла отходами из аппарата и обеспечивает хороший эффект очистки.

Состав отходов после аппаратов очистки по всем ступеням технологической схемы известкового отделения приведен в табл. 5.2 [10]. Анализ представленных материалов по количеству и химическому составу отходов позволяет сделать следующие выводы:

- при очистке известкового молока от крупного недопада в гасителях на цилиндрических грохотах необходимо использовать сетку с размером отверстий не менее 10 мм. Это обеспечит минимальные потери СаО с отделяемой твердой фракцией;
- наиболее эффективную очистку известкового молока от частиц размером 1-10 мм обеспечивают вибросита;
- потери СаО с отходами после вибросит составляют от 0,4 до 1% от производительности известкового отделения;
- потери СаО с отходами после отстойников в среднем в 4,5 раза больше чем после вибросит и составляет от 1,8 до 4,5 % от производительности известкового отделения;
- потери СаО с отходами после гидроциклонов могут достигать до 8-9% от производительности известкового отделения. Поэтому отходы после отстойников и гидроциклонов должны обязательно промываться с возвратом промыв в схему очистки известкового молока.

Таблица 5.2

Степень очистки известкового молока и состав отходов  
после различных очистных устройств известкового отделения

№ п/п	Размер отделяемых частиц, мм	Способ очистки	Эффект отделения, %	Состав отходов, % к массе		
				CaO	CaCO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	10	Процеживание на грохоте гасителя	95	10	60	30
2	1-10	Осаждение в отстойниках	50-60	45-50	20-25	30
3	1-10	Процеживание на вибросите	95-98	10	60	30
4	0,3-1	Осаждение в гидроциклоне D <sub>y</sub> = 150 мм	75	50-60	10-20	30

Анализ работы гидроциклонов на сахарных заводах Украины свидетельствует о том, что зачастую эксплуатация этих аппаратов ведется не правильно. Основная причина неудовлетворительной работы гидроциклонов заключается в том, что нормативная скорость потока известкового молока на входе в гидроциклон не обеспечивается.

Так, для заводов, перерабатывающих до 3 тыс. т свеклы в сутки, УкрНИИСПом был разработан гидроциклон диаметром 150 мм, с номинальным расходом молока 25 м<sup>3</sup>/час, который обеспечивает эффект очистки 75%. Сейчас, независимо от производительности, многие заводы оснащены гидроциклонами диаметром 250 мм. В таких аппаратах для обеспечения центробежного фактора, достаточного для нормальной очистки, расход молока (через гидроциклон) должен составлять 50-60 м<sup>3</sup>/час. То есть, такой гидроциклон должен быть обязательно включен в схему рециркуляции, и молоко на него должно подаваться насосом СОР 60 или двумя параллельно работающими насосами СОР 30. Это условие часто не соблюдается, фактический расход в 2-4 раза меньше нормативного. Поэтому нужный эффект очистки не достигается.

На некоторых заводах еще встречаются самодельные гидроциклоны диаметром 500 мм, на которые молоко подается одним насосом СOT 30. В таких условиях гидроциклон превращается просто в буферную емкость небольшого объема.

Вторая наиболее распространенная ошибка при эксплуатации гидроциклонов – отсутствие промывки отходов и, как следствие, большие потери СаО (с отходами после этих аппаратов). Для оценки работы гидроциклонов необходимо периодически делать анализ твердых примесей в известковом молоке до и после этих аппаратов, а затем определять эффект очистки. Если он не соответствует нормативному, причины нужно искать в неправильном расходе известкового молока, либо в неправильных соотношениях диаметров сливного сопла отходов и патрубка выхода очищенного молока из гидроциклонов.

ООО «Цукровик» имеет документацию на гидроциклоны разного диаметра. Документация разработана для условий изготовления этого оборудования непосредственно на сахарном заводе. Под имеющиеся насосы всегда можно подобрать и самостоятельно изготовить нужные гидроциклоны для завода любой производительности, в том числе и для переработки сахара-сырца, когда известковое отделение работает на 15-40 % от своей номинальной производительности.

### **5.5. Нормы технологического режима приготовления известкового молока. Контроль параметров**

Качество известкового молока – очень важный фактор, от которого зависит работа станции дефекосатурации. Несмотря на это, на многих заводах качество известкового молока определяют нерегулярно или же не делают анализы вообще. Есть предприятия, где лаборатории просто не в состоянии выполнить необходимые анализы.

В табл. 5.3 указаны показатели технологического режима приготовления известкового молока, которые необходимо контролировать, их нормативные значения и частота выполнения измерений.

Контролируемые показатели  
технологического режима приготовления известкового молока

№ п/п	Наименование контролируемого параметра	Величина параметра для заводов от 1,5 до 3,0 тыс. т свеклы	Периодичность определения
1	Плотность известкового молока (соотношение «известь-вода», на входе в МИК 1:3,2; 1:3,3), г/см <sup>3</sup>	1,18-1,19	1 раз в 30 минут
2	Расход: известки, т/час воды, м <sup>3</sup> /час	2÷5,5 6,5÷18	Непрерывно в процессе гашения
3	Температура воды, °С	80-85	Непрерывно, автоматически
4	Количество отходов после очистки молока (с разделением на мелкие и крупные), т/час	6÷24	1 раз в сутки
5	Степень обжига известняка, %	90÷95	1 раз в сутки
6	«Активность» известкового молока (отношение СаО <sub>акт.</sub> к СаО <sub>общ.</sub> в известковом молоке), %	87÷98	1 раз в сутки
7	Уровень в мешалке известкового молока, %	20÷90	Непрерывно, автоматически
8	Содержание твердых примесей в известковом молоке после очистки, г/л	10÷30	1 раз в декаду

Ниже приводим примеры выполнения основных анализов определения качества известкового молока:

1. Определение плотности известкового молока:<sup>1)</sup>

- взвешиваем на технических весах посуду емкостью 1 л и определяем ее вес, например, 700 г;

- набираем в емкость 1 л очищенного известкового молока с температурой 20 °С и взвешиваем на тех же весах. Вес емкости с молоком – 1850 г;
- определяем плотность известкового молока:<sup>1)</sup>  
(1850 – 700) / 1000 = 1,15 (г/см<sup>3</sup>).

## 2. Определение содержания твердых примесей в известковом молоке:

- берем мокрое плетеное сито с размером отверстий 0,25 x 0,25 мм и взвешиваем его – 200 г;
- приготовленное для определения плотности известковое молоко, объемом 1 л, тщательно перемешиваем и постепенно выливаем на сито;
- посуду, в которой было молоко, тщательно промываем водой, которую также выливаем на сито;
- тонкой струей воды из крана осадок на сите тщательно промываем при перемешивании до тех пор, пока на сите не останутся только твердые примеси;
- сито с примесями взвешиваем – 220 г;
- определяем вес примесей: 220 – 200 = 20 г/л.

## 3. Определение “активности” известкового молока:

В соответствии с инструкцией по ведению химического контроля в сахарном производстве [4] “активность” известкового молока необходимо определять химическим методом. Однако, учитывая, что в некоторых заводских лабораториях возникают затруднения при выполнении этого анализа (лаборанты пропускают момент изменения цвета раствора при титровании), нами предлагается более простой метод. Этот способ определения “активности” ранее был хорошо известен. Он не имеет такой точности, как нормативный химический метод, но в спорных ситуациях, для первичной оценки “активности”

---

1) Плотность известкового молока нельзя измерять денсиметром, поскольку так измеряют только плотность истинных растворов. Известковому же молоку, частично, присущи свойства и раствора, и коллоида, и суспензии. При плотности молока до 1,12 г/см<sup>3</sup> погрешность такого измерения еще будет невелика, но она резко увеличивается с ростом плотности.

известкового молока, его можно применять. Основывается он на использовании табличных данных, по которым можно определить содержание СаО в г/л и в % от массы известкового молока различной плотности и 100 %-ной активности (при полном отсутствии примесей). В сокращенном виде такие данные наведены в табл. 5.4, в полном – в работе [4].

Таблица 5.4

Содержание СаО в известковом молоке  
при 100% активности

Плотность молока при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	Содержание СаО	
	г/л	% к массе молока
1,1325	180	15,89
1,1400	190	16,67
1,1475	200	17,43
1,1545	210	18,19
1,1615	220	18,94
1,1685	230	19,68
1,1760	240	20,41
1,1835	250	21,12
1,1905	260	21,84
1,1975	270	22,55
1,2050	280	23,24
1,2125	290	23,92
1,2195	300	24,60

Зная, что “активность” молока - это соотношение содержания в продукте активной СаО к СаО общей, выполним вычисления для данных, полученных ранее (плотность известкового молока 1,15 г/см<sup>3</sup> и содержание в нем твердых примесей 20 г/л):

- для известкового молока плотностью 1,15 г/см<sup>3</sup> и 100 % активности содержание в нем СаО (по таблице) составит 210 г/л;

- тогда активность известкового молока будет:  
 $(210 - 20) \times 100 / 210 = 90,4 \%$ .

### 5.6. Отклонения от норм эксплуатации при работе оборудования по приготовлению и очистке известкового молока и способы их устранения.

Все нарушения в работе оборудования приводят, как правило, либо к колебаниям плотности известкового молока (это затрудняет дозировку молока в сок и приводит к значительным перерасходам молока), либо к снижению его активности (наблюдается при снижении эффекта очистки и росте количества примесей в известковом молоке). Следствие этого – увеличение количества продувок аппаратов дефекосатурации и рост потерь сахара, сокращение срока службы аппаратов из-за усиленного износа.

Наиболее характерные нарушения в работе оборудования и способы их устранения представлены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Нарушения в режиме работы оборудования известковых отделений и способы их устранения

№ п/п	Нарушения в работе оборудования	Возможные причины	Способы устранения
1	2	3	4
1	Понижение плотности известкового молока	В барабан подается много воды либо мало извести. Забита горловина подачи извести	Отрегулировать подачу извести и воды. Прочистить горловину гасителя извести
2	Рост примесей в молоке и падение его активности. Частые поломки транспортной системы отстойных очистителей	Высокая плотность молока. Низкая температура воды на гашение	Увеличить температуру и подачу воды в гаситель

1	2	3	4
3	То же, но при невысокой плотности молока. На выгрузочном устройстве печи пережог извести	Снижение активности печной извести из-за пережога. Закрыта выгрузка недопала из гасителя АИ-1,8	Снизить дозу топлива до 7% к массе известняка. Открыть выгрузку недопала из гасителя
4	Замазывание цилиндрического сита гасителя АИ-1,8. Потери СаО с отходами из гасителя	Высокая плотность молока и малые отверстия на сите гасителя	Понизить плотность молока. Во время ремонта заменить сито на более крупное.
5	Заращение сит на вибросите и сливных сопел на гидроциклонах. Рост примесей в молоке	Периодическая подача молока на вибросита и гидроциклоны	Включить аппараты в контур непрерывной подачи молока
6	Слив молока вместе с отходами из гидроциклонов	Нарушено соотношение диаметров выхода молока и слива отходов	Восстановить правильное соотношение диаметров сливов
7	Гидроциклоны не очищают молоко	Малый расход молока через гидроциклоны	Увеличить расход молока через гидроциклоны

### **5.7. Пуск оборудования для приготовления известкового молока.**

Пуск оборудования для приготовления известкового молока производят в такой последовательности [14]:

1. Перед началом пуска осматривают все аппараты, механизмы и трубопроводы на предмет их работоспособности и отсутствия посторонних предметов.

2. Механическую часть оборудования прокручивают вручную, а затем, при отсутствии затираний, стуков и поломок – от привода (вхолостую).

3. За 7 – 10 часов до пуска свеклорезок приступают к приготовлению известкового молока. Запускают на «холостом ходу» оборудование по очистке известкового молока и транспортировке отходов.

4. Запускают известегасильный аппарат:

- включают привод и набирают аппарат горячей водой с температурой 80 °С до сливного порога;
- в аппарат подают известь и воду в соотношении 1:4;
- в течение получаса получают известковое молоко с температурой не менее, чем 70 °С;
- “выводят” аппарат на проектную плотность молока и производительность 70 % номинальной.

5. Получаемое известковое молоко собирают в мешалках известкового отделения, заполняют их, затем заполняют мешалку сокоочистительного отделения. Во избежание осаждения молока в емкостях их транспортные системы должны работать непрерывно, до полного удаления молока из аппаратов.

### **5.8. Остановка известкового отделения**

1. Останавливают известегасильный аппарат:

- прекращают подачу извести и в течение 1 часа продолжают подачу воды во вращающийся барабан;
- прекращают подачу воды;
- останавливают привод барабана и останавливают транспортер выгрузки отходов;
- спускают воду из гасителя.

2. Последовательно (по мере освобождения от известкового молока) останавливают оборудование по его очистке, воду из него спускают.

3. При внезапной кратковременной остановке завода прекращают только гашение извести. При этом все механизмы оборудования по приготовлению и очистке известкового молока продолжают работать.

## 8.9. Материальный баланс известкового отделения.

### Определение весовым методом расхода технологической извести к массе перерабатываемой свеклы

В работе [11] представлены данные материального баланса СаО в известковом отделении Яготинского сахарного завода (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Приход			Расход		
Наименование статьи	Количество СаО		Наименование статьи	Количество СаО	
	т/сутки	% к общему к-ву		т/сутки	% к общему к-ву
СаО из печи	82,0	100	Потери СаО с отходами из гасителя	0,3	0,4
			Потери СаО с отходами из аппарата Русселя	2,4	2,9
			Расход СаО на переработку свеклы (по анализам в соке)	65,0	79,2
Всего	82,0	100	Всего	67,7	82,5

Из приведенных данных видно, что расхождение баланса по СаО составляет 14,3 т/сутки, или 17,5 %. Подобных балансов было сделано множество, но везде наблюдалась неувязка баланса в сторону занижения расхода извести на технологию от 17 до 25 %. То есть, данные о расходе извести на очистку свеклы, полученные в результате химических анализов, как правило, всегда ниже, нежели их фактический расход. Объясняется это, главным образом, двумя причинами:

- передозировкой СаО в сок из-за ненадежности методов анализа титрования кислотой до первого изменения окраски;
- неточностями в определении откачки сока (по причине отсутствия расходомеров сока).

Вместе с тем, существует несложная и достаточно точная [17] методика определения расхода CaO на очистку, основанная на точных весовых измерениях:

$$B_{CaO} = \frac{A_{CaO} \cdot a \cdot A_{пот}}{100 \cdot A_{сс}} \quad (8)$$

где:  $B_{CaO}$  - расхода CaO на очистку сока, %;

$A_{CaO}$  - суточная производительность известкового отделения по CaO, т/сутки (методика определения приведена в п. 4.5);

$A_{сс}$  - суточная переработка свеклы, т/сутки;

$a$  - активность известкового молока (соотношение CaO активное к CaO общее в молоке, %);

$A_{пот}$  - потери активной CaO с отходами, % от производительности отделения по CaO.

Численные значения  $A_{пот}$  принимаются следующие:

- при отсутствии очистки в гидроциклонах и промывке всех отходов известкового отделения – 97 %;
- при работе гидроциклонов и промывке всех отходов известкового отделения – 96 %;
- при отсутствии какой-либо промывки отходов и работающих гидроциклонов – 92 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бойнтон Р.С. Химия и технология извести / Пер. с англ.; под ред. Б.Н. Виноградова. – М.:Изд-во лит-ры по строительству, 1972.–240 с.
2. Инструкция по нормированию расхода известняка в сахарной промышленности.-К.: ВНИИСП,1986. – 27 с.
3. Инструкция по нормированию расхода топлива на получение извести для технологических и строительных нужд в сахарном производстве. – К.: ВНИИСП, 1983. – 34 с.
4. Инструкция по ведению технологического процесса свеклосахарного производства. – К.: ВНИИСП, 1972. – С. 208-209.
5. Верченко Л.М., Шевцов Л.Д., Педос А.Г., Шапошникова Л.И., Бобровник Л.Д. Влияние кислорода сатурационного газа на качество очищаемых соков // Сах. свекла: производство и переработка. – 1990. – №3. – С. 33-35.
6. Хвалковский Т.П. О расчете экономии сахара на станции очистки сока // Сах. пром-сть. – 1969. – №2. – С. 43-44.
7. Верченко Л.М. и др. Влияние оксида углерода сатурационного газа на качество соков свеклосахарного производства // Изв. вузов «Пищевая технология». – 1985. – №5. – С. 32-34.
8. Гуревич Р.Я., Панов В.В. и др. Шахтная известково-обжигательная печь: Смещение зоны горения // Сах. пром-сть. – 1993. - №3. – С.15 -17.
9. Шевцов Л.Д., Гуревич Р.Я., Панов В.В., Педос А.Г., Совершенствование процессов получения извести и сатурационного газа для технологических потребностей сахарного производства. – М.: АгроНИИТЭИПП, 1988. – 31 с.
10. Табунщиков Н.П., Аксенов Э.Т. и др. Получение извести и сатурационного газа для технологических нужд сахарного производства / – М.: Изд-во лег. и пищ. пром-сти, 1981. – 175 с.
11. Исследование и разработка рекомендаций промышленности по улучшению эксплуатации и совершенствованию оборудования известкового отделения: Отчет НИР. – М.: Всесоюзный научно-технический информационный центр, 1979. – 103 с.
12. С.В.Р. Johnson, Р.М. Christopherson LIME KILNS. A guide their understanding and operation: Материалы фирмы «Бритиш Шугар», 1990. – 22 с.

13. Панов В.В., Шевцов Л.Д., Гуревич Р.Я. и др. Работа шахтної вапновипалювальної печі з перевитратою палива // Цукор України. – 1995. – №3. – С. 26 – 28.
14. Инструкция по ведению технологического процесса свеклосахарного производства. К.: ВНИИСП, 1985. – 372 с.
15. Лосева В. А., Наумченко В.С., Ефремов А.А. Известь: производство и применение в сахарной промышленности. – Воронеж.: Воронежская гос. Технологическая академия, 2003. – 224 с.
16. Справочник по обогащению полезных ископаемых / Под. ред. Таггарта А. Ф. – М.: Metallurgizdat, 1950. – Т.2. – 520 с.
17. Гуревич Р.Я., Шевцов Л.Д., Панов В.В. Расход извести на очистку диффузионного сока. // Сахарная свекла: производство и переработка. – №3. – 1988. – С. 51-54.
18. Жигалов С.Ф. Процессы и аппараты свеклосахарного производства. – М.: Пищепромиздат, 1958. – С. 369-372.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. Сырье и продукты обжига известняка .....</b>	<b>3</b>
1.1. Известняк.....	3
1.2. Топливо.....	5
1.3. Известь.....	7
1.4. Сатурационный газ.....	8
<b>2. Процессы, происходящие в известково–газовой печи.....</b>	<b>10</b>
2.1. Особенность теплового режима печи.....	10
2.2. Сжигание топлива в шахтных печах.....	11
2.3. Расположение зон по высоте шахты печи.....	13
2.4. Полезная высота и производительность печи.....	18
2.5. Аэродинамическое сопротивление слоя кусковой засыпки.....	20
2.6. Поле скоростей газа в известковой печи.....	21
<b>3. Современное оборудование известковых отделений.....</b>	<b>22</b>
3.1. Новая футеровка для известковых печей.....	23
3.2. Оборудование для подготовки, дозирования и транспортирования шихтовых материалов.....	23
3.3. Загрузочно-распределительные и выгрузочные устройства....	27
3.4. Известковые печи конструкции ООО «Цукровик».....	31
3.5. Аппарат для приготовления известкового молока «Комплекс».....	33
<b>4. Эксплуатация печи.....</b>	<b>37</b>
4.1. Растопка печи.....	37
4.2. Остановка печи.....	38
4.3. Нормы технологического режима эксплуатации известковых печей.....	38
4.4. Отклонения от норм эксплуатации и способы их устранения...	43
4.5. Контроль процесса обжига.....	46
4.6. Анализ работы печей по составу газа.....	49
<b>5. Приготовление известкового молока.....</b>	<b>54</b>
5.1. Гашение извести.....	54
5.2. Требования, предъявляемые технологией свеклосахарного производства к известковому молоку.....	55
5.3. Гасители извести.....	57
5.4. Очистка известкового молока от непогасившихся примесей.....	58

5.5. Нормы технологического режима приготовления известкового молока. Контроль его параметров.....	64
5.6. Отклонения от норм эксплуатации при работе оборудования по приготовлению и очистке известкового молока и способы их устранения.....	68
5.7. Пуск и остановка оборудования для приготовления известкового молока.....	69
5.8. Остановка известкового отделения.....	70
5.9. Баланс известкового отделения. Определение весовым методом расхода технологической извести к массе перерабатываемой свеклы.....	71
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>73</b>
<b>ОГЛАВЛЕНИЕ .....</b>	<b>75</b>

**Совершенствование работы  
известкового отделения сахарных заводов**

Валерий Васильевич Панов  
Василий Дмитриевич Наumenко  
Владимир Иванович Баранов

Редактор Н.Я. Костина

Усл. печ. листов 3,2 .Тираж 200 экз.  
ИПДО НУПТ, 2004  
Редакционно-издательский центр НУПТ  
01033 Киев, ул. Владимирская, 68