

## ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КОТЛОАГРЕГАТОВ В ТЭЦ САХАРНОГО ЗАВОДА

Скаковский Ю.М., канд. техн. наук., с.н.с., Витвицкий В.Д., с.н.с., Бабков А.В., м.н.с.  
Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

*Результаты лабораторных и промышленных исследований использованы для модернизации системы автоматизации котлоагрегатов сахарного завода.*

*The results of laboratory and industrial researches are using for the modernization of the sugar-house steam-boilers automation system.*

Ключевые слова: свеклосахарное производство, технологический участок, ТЭЦ, котлоагрегат, система автоматизации.

**Введение.** В Одесской национальной академии пищевых технологий в рамках хозяйственной тематики выполняются работы по оказанию научно-технической помощи при модернизации систем автоматизации для повышения эффективности их функционирования на Красиловском свеклосахарном заводе (Хмельницкой области). Создана многоуровневая АСУТП свеклосахарного производства, включающая автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов основных технологических участков, АРМы диспетчера, главного технолога и директора на базе микропроцессорных контроллеров, компьютеров и локальной сети на базе технологии Ethernet [1]. В настоящее время ведутся работы по модернизации систем автоматизации котлоагрегатов типа ДКВР 10-23, работающих на общий паровой коллектор в ТЭЦ завода. Повышение эффективности работы энергоемкого парогенерирующего оборудования в современных условиях резкого подорожания энергоносителей является весьма актуальной задачей. Широко известны решения по оптимизации работы котлоагрегатов малой и средней мощности, в том числе запатентованные способы управления [2, 3]. Традиционно управление котлоагрегатом ведется на основе режимных карт, составленных для трех режимов по нагрузке, в составе параметров присутствует коэффициент полезного действия (К.П.Д.), рассчитываемый в начале сезона эксплуатации по методу обратного теплового баланса. Поскольку энергоэффективные режимы, приведенные в картах, определены на начало периода эксплуатации то, в связи с действующими внутренними возмущениями, может наблюдаться дрейф экстремумов в течение сезона. Наличие в модернизированных системах автоматизации требуемого количества автоматически контролируемых параметров, позволяет непрерывно выполнять оценивание показателей, в том числе отражающих эффективность работы котлоагрегата в течение всего периода его эксплуатации. Предложенные критерии оптимизации работы котла [3], не учитывают изменение энтальпии перегретого пара в течение периода работы котла, что приводит к погрешностям оценивания этих критериев. Задачами проведенных исследований были разработка критерия оптимизации, лишённого названного недостатка, разработка алгоритма и программы его оценивания и реализации, технической структуры для построения модернизированной системы автоматизации, обеспечивающей высокую надежность функционирования на объекте.

**Основные технические решения.** Исследование диапазонов изменения основных параметров: температуры перегретого пара, уходящих дымовых газов, до и после экономайзера, питательной воды; расходов и давления пара, газа, воды, воздуха; разрежения в топке и перед дымососом и т.д., при работе котлоагрегатов в течение сезона эксплуатации (рис. 1), показали необходимость учета возможных колебаний параметров, входящих в оценку эффективности работы котла. Известный критерий, представляющий отношение расходов перегретого пара, генерируемого котлом, к расходу газа на горелки, предложенный в [3], неполно отражает качество работы котлоагрегата, поскольку не учитывает изменения количества тепла, передаваемого в производство. Более адекватное представление об эффективности функционирования котла может дать критерий содержащий показатель энтальпии перегретого пара. Предложен критерий, аналогичный коэффициенту полезного действия котлоагрегата, рассчитываемый непрерывно в процессе эксплуатации по прямому методу, представляющий собой отношение тепловой энергии передаваемой в производство с перегретым паром к тепловой энергии, получаемой при сжигании в топке котла топлива (природного газа):

$$K_{кот} = \frac{q_{пар}}{q_{газ}} = \frac{\int_0^T F_n(\tau) \cdot i(\tau) d\tau}{\int_0^T F_z(\tau) \cdot Q_z^H(\tau) d\tau}, \quad (1)$$

где  $K_{кот}$  – коэффициент эффективности работы котлоагрегата;  
 $q_{пар}$  – количество тепла отводимое от котла в производство с паром, кДж (ккал);  
 $q_{газ}$  – количество тепла подводимое к котлу с газом, кДж (ккал);  
 $F_n(\tau)$  – мгновенный массовый расход пара, кг/с (т/ч);  
 $F_z(\tau)$  – мгновенный объемный расход газа, м<sup>3</sup>/с (м<sup>3</sup>/ч);  
 $i(\tau)$  – энтальпия перегретого пара, кДж/кг (ккал/кг);  
 $Q_z^H(\tau)$  – низшая теплотворная способность природного газа, кДж/м<sup>3</sup> (ккал/м<sup>3</sup>);  
 $[0; T]$  – расчетный период (смена, сутки, декада и т.д.), час.

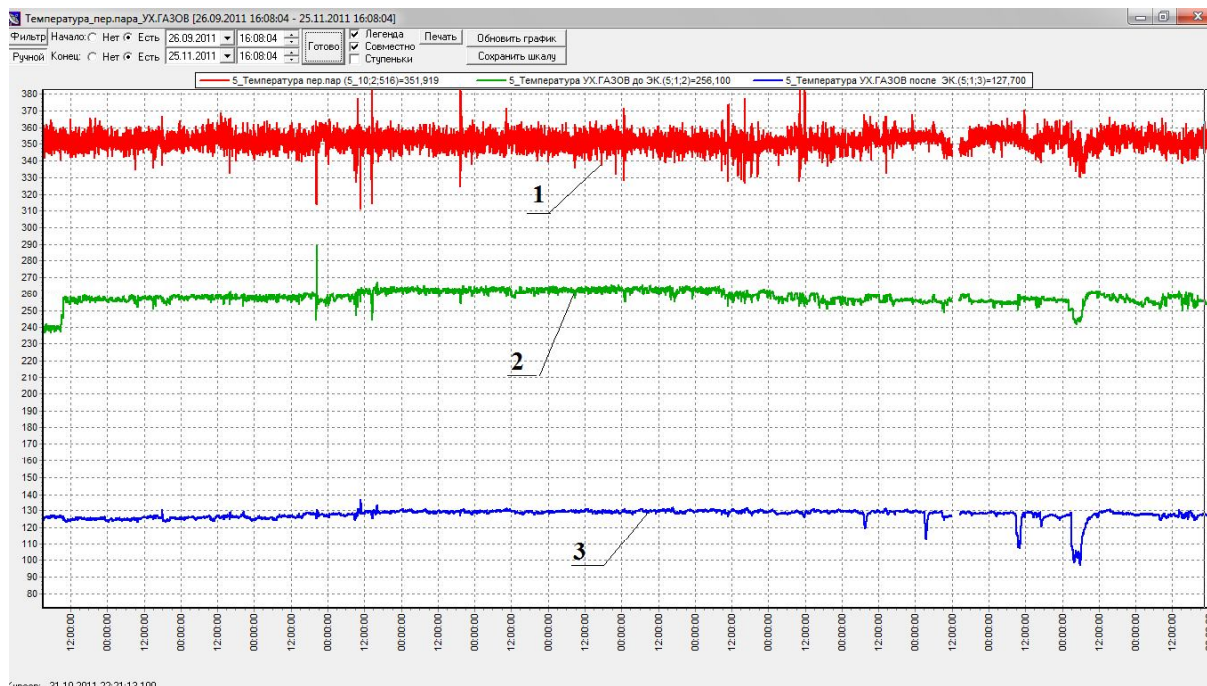
Низшая теплотворная способность газа, которую принято использовать при подобных оценках, определяется по данным газопоставляющей организации и изменяется весьма незначительно.

При расчетах энтальпии необходимо учитывать как факт ее зависимости от двух параметров температуры и давления, так и нелинейный характер этих зависимостей:  $i = f(t, p)$ ,

где  $t$  – температура перегретого пара, °С;

$p$  – давление перегретого пара, МПа (ата).

При анализе длительных периодов работы котлоагрегата, как видно на рис. 1, изменения температуры перегретого пара составляют 30 – 35 °С, что приводит к существенным изменениям значений энтальпии пара, которые необходимо учитывать при оценивании предложенного критерия. Данные получены с помощью функционирующего автоматизированного рабочего места оператора котла №5 ТЭЦ Красилковского сахарного завода.



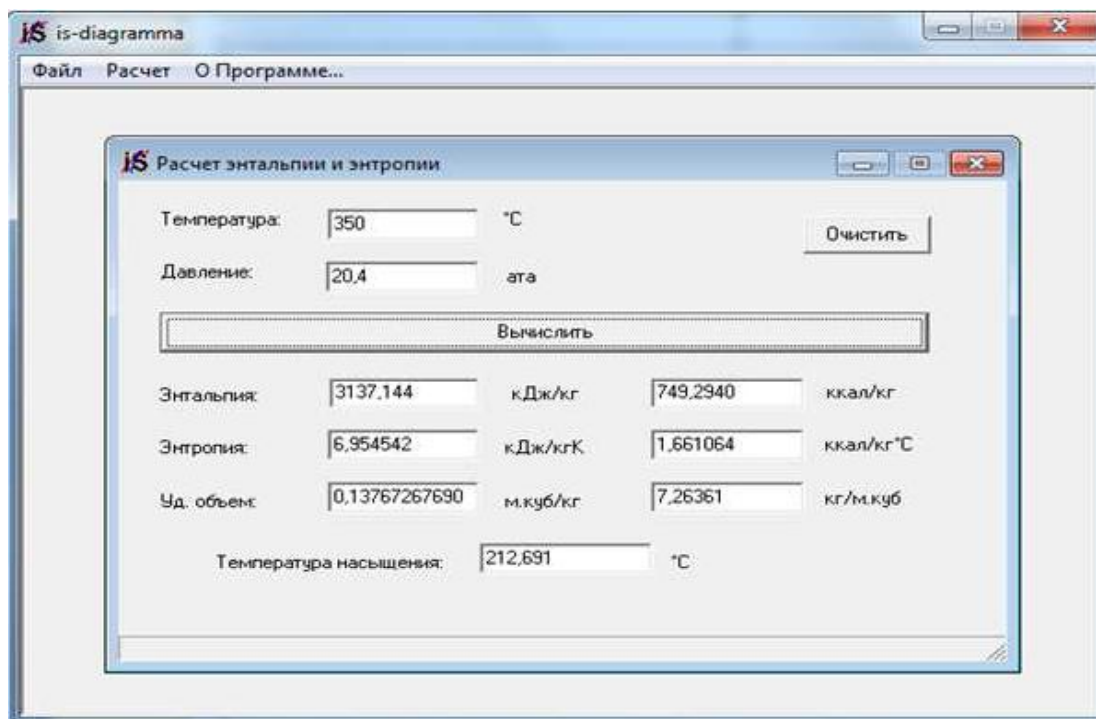
1 – перегретый пар, °С;  
 2 – уходящие газы до экономайзера, °С;  
 3 – уходящие газы после экономайзера, °С.

**Рис. 1 – Графики изменения температур за две недели эксплуатации**

Анализ свойств перегретого пара в рассматриваемой рабочей области [4, 5], показывает, что влияние изменений давления пара на изменения энтальпии меньше, чем влияние изменений температуры пара, однако, не учитывать это влияние можно лишь в случае работы котлоагрегата в автономном режиме, при работе контура стабилизации давления пара в барабане котла. При управлении группой котлоагрегатов,

роботаючих на общий коллектор, возникает необходимость учета этих влияний на энтальпию пара. Применение известного метода управления, основанного на принципе оптимального распределения нагрузки между параллельно работающими агрегатами, затруднено в данных условиях из-за сложности реализации, поэтому управление строится по принципу выделения нескольких котлоагрегатов, обладающих большим К.П.Д. для работы в базовом режиме и одного для работы в регулировочном режиме, обеспечивающем стабилизацию давления в общем коллекторе пара. Таким образом, возникает задача оценивания энтальпии с учетом двух вариантов реализации: однопараметрического (только в зависимости от температуры) и двухпараметрического (в зависимости от температуры и давления).

Исследования, проведенные в сезонах 2010 – 2011 гг. на Красилковском сахарном заводе показали, что перегретый пар, передаваемый от котлов на общий коллектор, имеет область изменения давления (19,6 – 22,0 ата либо 1,922 – 2,157 МПа) и температуры пара ( $T=340 - 370$  °С), что позволяет определить область значений энтальпии перегретого пара в соответствии с IS – диаграммой и таблицей термодинамических свойств воды и водяного пара [5]. Расчет значений энтальпии проводился с помощью компьютерной программы (is\_diagram, Osan 2002), позволяющей вычислять эти значения с высокой точностью (до четвертого знака после запятой). Интерфейс программы приведен на рис. 2.



**Рис. 2 – Интерфейс компьютерной программы расчета энтальпии пара**

Диапазон изменения исходных параметров (давления и температура пара) был разбит на интервалы по давлению 0,4 ата (0,04 МПа), по температуре – 1,0 °С. Такое разбиение позволяет выполнять расчеты энтальпии с погрешностью не выше 0,05 %. Таким образом, полученные в табличной форме нелинейные зависимости необходимо заложить в вычислительное устройство и организовать вычислительные процедуры в реальном масштабе времени.

Умножив полученное мгновенное значение энтальпии на мгновенное значение массового расхода пара и проинтегрировав в пределах расчетного временного интервала  $[0;T]$ , можно получить искомое значение количества тепла  $q_{пар}$ . Аналогично, после интегрирования, получим значение  $q_{газ}$  для подводимого с газом тепла, умножая мгновенный объемный расход газа на его низшую теплотворную способность. Отношение двух полученных величин в соответствии с (1) даст искомое значение критерия  $K_{кот}$ .

Для обоих рассматриваемых вариантов работы группы котлоагрегатов разработаны алгоритмы и программы, в основу которых положены нелинейные зависимости энтальпии от указанных параметров. Учет изменений энтальпии перегретого пара в процессе функционирования котлоагрегата позволяет повысить точность оценивания количества тепла, которое передается потребителям в основное производство с паром, на 2 – 4 %.

В системе реализован метод, аналогичный приведенному в [6], поиска оптимального значения коэффициента соотношения давлений газа и воздуха  $K_c$ , поступающих на горелки, позволяющий достигать

максимальных значений критерия  $K_{кот}$  при работе котла в течение периода эксплуатации. Найденное оптимальное значение  $K_c$  служит заданием на следующий расчетный период контуру эффективности горения, реализованному для каждого котлоагрегата. В технической реализации алгоритма расчета, была осуществлена замена интегральных оценок критерия  $K_{кот}$  оценками, полученными в результате фильтрации сигналов от датчиков и промежуточных параметров. Применен фильтр первого порядка, параметр настройки которого  $T_{\phi}$  является одним из параметров настройки алгоритма поиска, и уточняется при экспериментальных исследованиях на объекте.

На предложенный метод управления, а также комплекс технических решений получен патент Украины [7].

Предлагаемые на рынке приборные комплексы для измерения, учета расхода тепла и других показателей, например, счетчики пара «ИРГА» российского производства, рассчитаны на использования в системах коммерческого учета, обладают достаточной точностью, однако стоимость их весьма велика (25 – 40 тыс. грн). Еще более высока цена аналогичных приборов европейских производителей.

Для рассматриваемых задач допустима погрешность, соизмеримая с погрешностью приборов контроля, установленных на предприятии (класс точности 1; 0,5). Поэтому интерес представляют технические решения, обеспечивающие реализацию поставленной задачи с использованием существующих на предприятии вычислительных средств, либо недорогих программируемых устройств, которые можно легко встроить в действующую АСУТП, с учетом особенностей функционирующих программных и технических средств.

Выбор микропроцессорного вычислительного устройства производился с учетом реальных возможностей персонала службы главного метролога по освоению и обслуживанию подобной техники. АСУТП на этих предприятиях реализовано на базе функционально-программируемых контроллеров отечественного производства и компьютеров, оснащенных SCADA-системой «ИНДЕЛ 4», разработанной полтавским предприятием «ИНФОТЕХПРОМ». Набор драйверов, поставляемых в комплекте со SCADA-системой, обеспечивает обмен информацией с контроллерами, как отечественного производства Ремиконт, МИК (предприятие «МИКРОЛЬ», г. Ивано-Франковск), так и импортного производства (Siemens, VIPA и др.). Предпочтение было отдано новому программируемому контроллеру предприятия «МИКРОЛЬ» МИК-52, исходя из критерия стоимость – качество, с учетом близости программного обеспечения для этого контроллера (редактор «а») к знакомому персоналу службы КИП и А редактору для функционирующих на предприятии МПК.

Лабораторная имитационная установка, на которой проводились исследования, включала: МПК МИК-52, аналоговые задатчики РЗД-22 (с токовым выходом 4,...,20 мА), блок преобразования интерфейсов БПИ-52, компьютер с установленным программным обеспечением: драйвер для БПИ-52, редактор «а», SCADA-система «ИНДЕЛ 4» с драйвером MODBUS, обеспечивающим обмен с МИК-52 по двухпроводному интерфейсу RS-485.

В настоящее время на Красилловском сахарном заводе реализованы АРМ операторов для трех из пяти котлоагрегатов. Производственные испытания показали работоспособность предложенных решений и позволили повысить КПД котлоагрегатов на 1 – 1,5 %, за счет нахождения оптимальных заданий контуру эффективности горения. На рис. 3 приведены параметрические (фактический и усредненный в оптимальной области) графики зависимости критерия  $K_{кот}$  от коэффициента соотношения  $K_c$  давлений газа и воздуха, полученные на котле №5 в сезоне 2011 года (экранная форма).

В сезон 2012–2013 годов планируется завершение работ путем создания АРМ операторов для всех котлоагрегатов с объединением их в локальную сеть с АРМ начальника ТЭЦ, на котором помимо всей информации, доступной операторам, представляются обобщенные данные о работе ТЭЦ. Последний АРМ, в свою очередь, подключается к заводской локальной сети.

Поскольку АРМ операторов создается непосредственно возле объектов управления – котлоагрегатов, то возникают проблемы, вызванные условиями производственных помещений, где во время эксплуатации имеют место сложные условия для компьютера оператора: пыль, влажность, вибрация, низкое качество электропитания и прочие. Альтернативой использования дорогих промышленных компьютеров стало инновационное решение построения структуры системы на основе технологии «тонких клиентов». Преимущество такого решения заключается в том, что вместо компьютера на рабочих местах оператора располагаются устройства упрощенной архитектуры с отсутствующими механическими компонентами и гальванически разделенным стабилизированным питанием – «тонкие клиенты», которые связаны с мощным компьютером-сервером информационными сетями. Сервер располагают в помещении с благоприятными условиями, на нем реализуются все функции компьютеров АРМ операторов котлоагрегатов, в том числе создаются лучшие условия сохранения архивных данных и программных настроек.



1 – фактичний параметричний графік  $K_{ком} = F(K_д)$ ;  
2 – усереднений параметричний графік  $K_{ком} = F(K_д)$

**Рис. 3 – Зависимость критерия от коэффициента соотношения газ – воздух**

Периферийные устройства (монитор, клавиатура, мышь) подключаются к «тонкому клиенту». Пользователь (оператор) получает доступ к своим экранным формам, но не может нарушить стабильность работы системы. Таким образом, одновременно повышается надежность системы и срок ее службы, а также снижается энергозатраты на питание устройств и стоимость комплекса технических средств.

Проведен сравнительный анализ представленных на рынке моделей «тонких клиентов», в результате которого по критерию «цена – качество» выбрана линия «PC-Station» (OnixSoft, г.Одесса). Проведенные лабораторные исследования и производственные испытания на технологическом участке завода, позволили остановиться на модели «PC-Station 90W» и рекомендовать ее к использованию в модернизируемых системах автоматизации.

Дальнейшие направления исследований связаны с определением оптимальной структуры информационной сети для котельного отделения ТЭЦ, а также с техническими решениями по созданию отказоустойчивой структуры сервера и резервирования данных.

**Заключение.** В результате проведенных лабораторных исследований и производственных испытаний в составе модернизированной системы управления котлоагрегатом реализован метод повышения эффективности, основанный на использовании непрерывно оцениваемых показателей его работы. Внедрение технологии «тонких клиентов» в системе автоматизации ТЭЦ сахарного завода снижает затраты на комплекс технических средств, повышает надежность функционирования системы.

#### Литература

1. Жуковский Е.И., Скаковский Ю.М., Вітвицький В.Д., Бабков А.В. Багаторівнева АСУТП цукрового заводу. Автоматика /Automatics – 2011. XVIII Міжнародна конференція з автоматичного управління, 28-30 вересня 2011 року: матеріали конференції/ – Львів:Видавництво Львівської політехніки, 2011– С. 167–168.
2. Котельные установки и их эксплуатация: учебник для нач. и проф. образования / Б.А. Соколов. 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия» – 2007. – 432с.;
3. Патент України на корисну модель №36015, МПК F 23N 1/02, Опубл.:10.10.2008, Бюл.№19, 2008 р., «Спосіб автоматичного керування, контролю, захисту та сигналізації котлоагрегату».
4. Жуковский Э.И., Скаковский Ю.М., Витвицкий В.Д., Бабков А.В. Реализация задачи оценивания показателей работы завода в АСУТП сахарного производства// Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса: 2010 – №3.– С.16–26.

5. Вукалович М.П. Термодинамические свойства воды и водяного пара (таблицы и диаграммы). –М: «Стандарты», 1969.
6. Скаковский Ю.М., Витвицкий В.Д., Шайкова О.П., Бабков А.В. Координация работы участков свеклосахарного производства, расположенных в последовательной технологической цепи // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій/ Міністерство освіти і науки України. – Одеса: 2008 – Вип. 32 С. 59–65.
7. Патент України на корисну модель №63774, МПК F 23N 1/02, Опубл.:25.10.2011, Бюл.№20, 2011 р., «Спосіб автоматичного керування, контролю, захисту та сигналізації котлоагрегату».

УДК 664.1.038

## **ВПЛИВ КАРБОНАТНОЇ СИРОВИНИ ТА ПАЛИВА НА ОТРИМАННЯ ВАПНА В ЦУКРОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

**Верченко Л.М.** канд. тех. наук, ст.н.с., **Кос Т.С.**, канд. техн. наук, ст. викладач,  
**Василів В.П.**, канд. техн. наук, ст.н.с.  
**Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ**  
**Кудашев С.М.**, канд. техн. наук, ст.н.с.  
**Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса**  
**Пушкар Т.Д.**, асистент  
**Одеський державний аграрний університет, м. Одеса**

*У статті наводяться дані про практичний досвід і наукових міркуваннях відносно технічних характеристик карбонатної сировини та палива, які найбільш прийнятні для отримання вапна у цукровому виробництві.*

*This feature contains facts about practical experience and scientific speculations over specifications of carbonate material and firing which are the most acceptable for lime preparation in sugar production.*

Ключові слова: карбонатна сировина, вапняки, кремнезем, оксиди алюмінію та заліза, гіпс, карбонат магнію, кокс, антрацит.

У промисловості вапно отримують шляхом випалення кальціймагнієвмісних гірських порід – вапняків. Хімічний склад і кристалічна структура карбонатних порід визначається генезисом відкладень і умовами їхнього утворення. Класифікують вапняки за різними принципами: геологічним віком і геологічним походженням, хімічним складом, кристалічною структурою, розміром кристалів, із яких складена порода та ін. [1]. Для характеристики вапняків, які використовує цукрова промисловість, ми скористалися класифікацією за геологічним походженням і кристалічною структурою, оскільки саме вони визначають хімічний, мінеральний склад і зернистість породи, яка в подальшому впливає на якість вапна.

Більша частина вапняків після свого утворення перекристалізувалася, створивши кристалічний різновид: криптозернисті, тобто прихованозернисті, мікрозернисті, мілкозернисті, середньозернисті та крупнокристалічні [2].

Для отримання вапна цукрова промисловість використовує вапняки переважно органічного походження. Це більшою частиною морський осад, який містить черепашки, скелети рослин і тварин, які поступово накопичуються, пласт за пластом утворюють вапняки. Тепло і тиск зцементували мікроскопічні карбонатні часточки, перетворивши їх на гігантські компактні маси. Ці маси залягають шаруватими пластами, утворюючи вапняки, які часто розрізняються за хімічним складом і міцністю, які бувають різними навіть в одному і тому ж кар'єрі. Винятком є крейда, яка залягає компактною масою без шаровитості, а тому хімічний склад і міцність крейди того ж родовища однакові.

Карбонат кальцію вапняків представлений переважно мінералом кальцитом.

На жаль, у промислових масштабах кальцит не використовують, оскільки він має ту ж саму кристалічну будову, що і технічні вапняки, та майже повну відсутність домішок.

Вивчення кристалічної структури вапняків, які найчастіше використовують у цукровій промисловості: крупнокристалічного мармуру, середньозернистого металургійного вапняку, черепашнику, мілкозернистого мармуроподібного та крейдоподібного, довело, що всі вони органічного походження [3].

Вапняки, які випалюють у цукровій промисловості на вапно, повинні відповідати державному стандарту ДСТУ 1451-91 «Камінь вапняний для цукрової промисловості. Технічні умови». Державний стандарт регламентує: хімічний, фракційний склад вапняку та опір стисненню.