

*Несмеянов Н. П., канд. техн. наук, доц.,
Богданов В. С., д-р техн. наук, проф.,
Вердиян М. А., д-р техн. наук, проф.,
Ильин Д. В., аспирант*

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТА

v.s_bogdanov@mail.ru

В статье содержатся новые, научно-обоснованные критерии оценки энергетической эффективности цементного производства, разработанные на основе эксергетического анализа технологии цемента.

Предоставлены результаты расчета новых критериев и даны рекомендации по их применению в цементном производстве.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, критерии оценки качества, эксергетический анализ, конкурентоспособность, цементное производство.

В настоящее время устойчивое и эффективное развитие цементного завода обязательно предполагает повышение конкурентоспособности этого предприятия и выпускаемой им продукции. С научной точки зрения оценка конкурентоспособности предприятия и его продукции должна базироваться на использовании комплекса показателей, учитывающих качественные и количественные характеристики информационных, материальных, энергетических и финансовых потоков предприятия. При этом цементное производство рассматривается нами как единая технологическая система механотермохимического превращения сырья в готовый продукт по всей традиционной цепочке на уровнях ("вход-выход"): "сырье-шихта"; "шихта-шлам, мука"; "шлам, мука-клинкер", "клинкер-цемент". Главным источником энергозатрат при этом являются два потока: основной поток, т.е. преобразуемые исходные компоненты, и преобразующий поток, необходимый для преобразования и транспортирования основного.

Такой подход обязывает при сравнении цементных производств и их продукции одновременно учитывать как суммарные энергозатраты при получении готового продукта, так и его качество.

Обобщенным параметром различных энергетических затрат, качества различных видов энергии и готового продукта служит эксергетический показатель, который является главной и единой характеристикой энергетической эффективности для всех переделов любого цементного производства.

К числу новых критериев оценки энергетической эффективности цементного производства, разработанных на основе эксергетического анализа технологии цемента [1,2] относятся:

✓ **критерий технологической конкурентоспособности (КС);**

✓ **критерий качества цемента (КЦ);**
✓ **критерий минимума дисперсий эксергетия цемента $D(E_{\text{цем}}) \rightarrow \min$.**

При разработке этих критериев исходили из того, что цемент, как товарный рыночный продукт, может считаться конкурентоспособным, если при сравнении с себе подобными одного вида марки цемента он обладает рядом преимуществ, которые проявляются в значениях этих критериев.

Наиболее важным из них является критерий КЦ, который отражает энергонапряженность цемента, как дисперсной системы, поскольку учитывает их энергетические характеристики: эксергию цемента $E_{\text{цем}}$, его концентрацию $E_{\text{цем}}/d_{\text{ср}}$ и активность цемента в различные сроки твердения.

Энергонапряженность – это максимальная плотность энергии, которую получает частица в ходе его механотермохимического превращения из исходного сырья в цемент. Влиять на энергонапряженность цемента, т.е. изменять плотность энергии частицы, можно в отдельных технологических переделах ("сырье-шихта", "шихта-шлам", "мука-клинкер" – цемент производителя – цемент потребителя).

Оперативно управлять энергонапряженностью частиц цемента можно на завершающей стадии реализации процессов измельчения и перемешивания в производстве и потреблении цемента в мельницах и смесителях дискретно-непрерывного действия..

Имеющиеся экспериментальные данные по использованию различных видов-марок цемента в различных условиях их эксплуатации позволяют сделать вывод о том, что определяющую роль при формировании строительно-технических свойств материалов на их основе играют энергонапряженность цемента и среда, в которой происходит процесс твердения вяжущего.

го. Мерой эффективности этого процесса может служить широко используемые и успешно проверенные в практике НИР по измельчению и обжигу клинкера (Вердиян М. А., Альбац Б. С.) произведение константы скорости процесса твердения « k » (час^{-1}) на продолжительность (сроки) твердения τ (час). $k\tau$ - это безразмерная величина легко определяется из уравнения кинетики роста прочности первого порядка. $A_{\text{вых}} = A_{\text{вх}} \times e^{k\tau}$. Понятно, что чем больше величина $k\tau$ тем больше будет активность в последующие сроки.

С учетом кинетики роста прочности критерий качества цемента будет иметь вид:

$$KЦ = E_{\text{цемент}} / d_{\text{ср}} \times k\tau$$

$$KЦ(\text{CEM}i-52,5N) < KЦ(\text{CEM}i-42,5R) < KЦ(\text{ПЦ-500-Д0}) < KЦ(\text{ПЦ-400-Д0})$$

$$KЦ(\text{CEM}i-52,5N) > KЦ(\text{CEM}i-42,5R) > KЦ(\text{ПЦ-500-Д0}) > KЦ(\text{ПЦ-400-Д0})$$

физический смысл которых соответствует общепринятым представлениям о качестве этих цемента. Наибольший практический интерес представляет и сравнение различных партий одного видо-марки цемента по этим критериям. Управление качеством партии цемента сводится к стабилизации принятого диапазона критериев, который устанавливается для каждой видо-марки цемента. Причем наиболее оперативное управление значениями этих критериев возможно только на переделе измельчения цемента. Традиционный технико-экономический подход к оценке стоимости цемента не позволяет учесть стоимость качества цемента в рамках одного и того же типа и класса прочности. В то же время эксергия цемента $E_{\text{цемент}}$ является гибким ценообразующим параметром, определяющим качество цемента и его стоимость в изменяющихся условиях по сырью, клинкеру и технологии их превращения.

Введено понятие и разработана методика определения предельной стоимости эксергий цемента. Этот параметр определяется по величине $E_{\text{цемент}}$ с размерностью [кВт•ч/т] и поэтому рассчитывается по цене на заводе одного кВт•ч.

Знание величин $E_{\text{цемент}}$, $E_{\text{цемент}}/d_{\text{ср}}$ и их стоимости позволяет оперативно оценивать (не дожидаясь определения $R_{\text{сж}}(28)$ и других свойств) качество различных партий одного и того же типа и класса прочности цемента, а также сравнивать цементы, выпускаемые различными цементными заводами, т.е. появляется возможность ответить на очень важный в рыночных условиях вопрос - какой цемент при одном типе и классе прочности лучше? Естественно, что при этом конкурентоспособнее окажутся те цементы, у которых больше $E_{\text{цемент}}$, $E_{\text{цемент}}/d_{\text{ср}}$ и больше разница между предельной стоимостью эксергии цемента и его

Расчеты критериев $KЦ$, $KЦ$ и $D(E_{\text{цемент}})$ были выполнены для условий работы ОАО «Осколцемент». В качестве исходных данных были взяты результаты предыдущих исследований [3], в которых приводятся эксергетические характеристики цемента различных видо-марок и различных партий ПЦ-500-Д0. Результаты расчетов даны в табл. 1, пример расчета:

$$KЦ(\text{CEM}i-52,5N) = \frac{3,6 \times 600}{389,8} = 5,54$$

$$KЦ(\text{CEM}i-52,5N) = 389,8 \times 614 = 239337 \frac{\text{КДж}}{\text{см}^2 \cdot \text{мкм}}$$

Численные значения этих критериев определили адекватные неравенства,

отпускной ценой (табл. 1). Вот почему к типовому документу о качестве на отгружаемый цемент возникает необходимость дополнения эксергетических характеристик качества и стоимости этого цемента. Для сравнения в табл. 1 приводятся эти характеристики для различного вида цемента. Все параметры табл. 1 (за исключением п. б) определяются в считанные минуты. Значения прочности цемента $R_{\text{сж}}(28)$ приводятся здесь только для доказательства связи $R_{\text{сж}}(28) = f(E_{\text{цемент}}/d_{\text{ср}})$. Понятно, что такая таблица должна составляться отдельно для каждой партии цемента и желательно, чтобы в ней были представлены данные по всем предыдущим отгружаемым партиям для каждого постоянного потребителя, так как по эксергетическим характеристикам этих партий можно будет достоверно отслеживать фактические изменения в их качестве.

Главное преимущество критериев $KЦ$, $KЦ$ и $D(E_{\text{цемент}})$ заключается в том, что **они являются масштабируемыми параметрами**, которые могут и должны задаваться при повышении эффективности действующих и строительстве новых цементных заводов. При этом должна решаться конкретная задача достижения определенных значений этих параметров обязательно превышающих их базовые значения для сравниваемого производства.

Критерии $KЦ$, $KЦ$ и $D(E_{\text{цемент}})_{\text{min}}$ в настоящее время нашли практическое применение при контроле технологических параметров и управлении эффективностью производства и качеством цемента на ОАО «Осколцемент». С введением этих новых параметров впервые появилась возможность дополнить традиционную оценку качества видо-марки цемента новой количественной характеристикой.

Таблица 1

Эксергетические характеристики качества цемента

Параметры	Цемент				Партии цемента ПЦ-500-Д0			
	СЕМІ 52,5N	СЕМІ 42,5R	ПЦ 500 -Д0	ПЦ 400 -Д0	№1	№2	№3	№4
Качество								
1. Эксергия клинкера, $E_{кл}$, МДж/т	1136,6	1136,2	1177,0	1145,4	1153,8	1233,7	1163,9	1156,7
2. Эксергия цемента, $E_{цем}$ МДж/т	8070,0	7422,0	8662,0	7763,0	8655,0	9378,0	8148,0	8330,0
3. Средний размер частиц цемента, $d_{ср}$, мкм	20,7	25,5	30,4	29,9	27,25	33,16	30,26	31,01
4. Параметр распределения частиц по их эксергии, K , б/разм	7,108	6,531	7,361	6,781	7,549	7,641	7,026	7,231
5. Концентрация эксергии цемента, $E_{цем}/d_{ср}$, $\frac{МДж}{т \cdot мкм}$	389,8	290,8	284,8	258,8	318,2	282,0	269,2	268,7
6. Прочность на сжатие в возрасте 28 суток, $R_c(28)$, МПа	61,4	58,1	53,6	48,8	56,8	55,0	52,8	49,8
Стоимость								
7. Предельная стоимость эксергии (СЭ) цемента, рассчитанная по цене на заводе 1 кВт·ч $C \cdot (E_{цем})$, кВт·ч/т, руб./т $C \cdot (E_{цем}/d_{ср})$, руб./ (т·мкм)	2244 108,0	2062 80,6	2400 79,1	2160 72,0	2404 88,2	2605 78,5	2263 74,7	2314 74,6
8. Отпускная цена ОЦ на расчетный период цемента, ОЦ, руб./т цемента/ $d_{ср}$, ОЦ/ $d_{ср}$, руб./ (т·мкм)	780 37,6	774 30,3	723 23,7	693 23,1	723 26,5	723 21,8	723 23,8	723 23,3
9. Разница между $C \cdot (E_{цем}/d_{ср}) - ОЦ/d_{ср}$, руб./ (т·мкм) Скидка в цене, %	70,4 65,2	50,3 62,4	55,4 70,0	48,9 67,9	61,7 69,9	56,7 72,2	50,9 68,1	51,3 68,7
10. КС	5,54	7,42	7,58	8,34	6,78	7,65	7,95	8,03
11. КЦ	239337	168954	152652	126294	180737	155100	142137	133812

Разработанные методики расчета новых критериев обеспечивают объективную количественную оценку результативности работы:

- для производства цемента, его отдельных технологических переделов и производства строительных материалов на основе цемента;
- при сравнении качества различных партий одной вида-марки цемента; выпускаемых на одном заводе;
- при сравнении качества цементов одной вида-марки, выпускаемых различными заводами;
- при модернизации действующих и создании новых цементных производств на стадии сравнения предлагаемых и существующих технологических схем.

Таким образом есть все основания рекомендовать количественные значения критериев КС, КЦ и $D(E_{цем})$ в качестве своего рода **индекса технологической конкурентоспособности сравниваемых производств и индекса качества выпускаемого ими цемента.**

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вердиян М.А. и др. Расчет и формирование эксергии цемента в мельницах дискретно-непрерывного действия. Цемент и его применение, № 5, 2003, с 40-43, № 6, 2003, с.37-40.
2. Вердиян М.А., Бобров Д.А., Несмеянов Н.П. и др. Эксергетический анализ процессов химической технологии (на примере технологии цемента), Москва, 2004, 91с.
3. Вердиян М.А., Несмеянов Н.П. и др. Эксергетический анализ в задачах одновременного повышения эффективности работы мельниц и качества цемента. Москва, МАСИ, 2005 г., 101 с.