

УДК 552.581:66.021.93

Соискатель Д.М. Визир

(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств, тел. (473) 221-58-42

Исследование свойств кизельгура как объекта термической регенерации

Исследованы физико-механические и теплофизические свойства кизельгура. Получены уравнения, позволяющие определять характеристики кизельгура в широком диапазоне температуры и влажности.

The physico-mechanical and thermophysical properties of diatomite are investigated. The equations, allowing to define characteristics of diatomite in a wide range of temperature and humidity are received.

Ключевые слова: кизельгур, физико-механические и теплофизические свойства, термическая регенерация.

В пивоваренной отрасли существует ряд проблем, связанных с использованием кизельгура: ограниченность ресурсов высококачественного диатомита, а также большие расходы на утилизацию [1, 2].

Одним из перспективных направлений является термическая регенерация кизельгура. При этом образуется материал, который снова может использоваться для фильтрации пива [3].

Кизельгур, подлежащий регенерации, представляет собой полидисперсную систему, состоящую из частиц различного размера, а также веществ, которые при фильтровании накапливаются в слое кизельгура.

Одной из важных задач является научное обоснование методов расчета и проектирования оборудования, увязанных со свойствами объекта сушки и закономерностями кинетики процесса [4].

Знание физико-механических и теплофизических свойств кизельгура позволяет проводить математическое моделирование процесса, рассчитывать рациональные режимы работы аппарата, конструировать функциональные элементы оборудования.

Исследования выполнялись в испытательной лаборатории АНО «Тест-Пушино». В ходе экспериментов нами определены следующие физико-механические характеристики кизельгура – плотность, насыпная плотность, коэффициент плотности укладки, порозность слоя, угол естественного откоса, гранулометрический состав. Значения плотности определялись по ГОСТ 17177-94.

Из рис. 1. видно, что с увеличением влажности плотность кизельгура уменьшается.

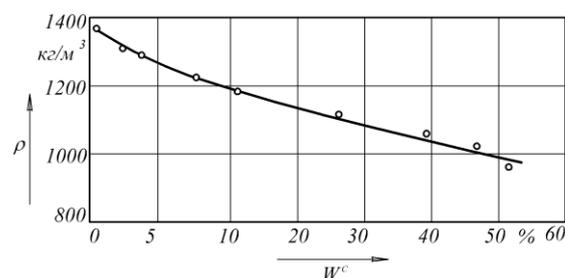


Рис. 1. Зависимость плотности кизельгура от влажности

Это объясняется тем, что с увеличением содержания воды плотностью 998 кг/м³ при 293 К происходит снижение содержания абсолютно сухого вещества с плотностью 1450 кг/м³, что приводит в конечном итоге к общему снижению плотности кизельгура.

При малых значениях влажности 0...8 % кривая плотности имеет более крутой характер, то есть отмечается более резкое ее снижение. Это объясняется не только количественным изменением содержания воды, а главным образом, качественным ее состоянием. В этом интервале влажности вода связана адсорбционными силами, которые сжимают ее огромным давлением, отчего свойства воды изменяются и отличаются от обычных значений этих величин.

Насыпная плотность кизельгура – это масса единицы объема. Она зависит от плотности и влажности отдельных частиц, их формы, шероховатости и меняется в зависимости от способа засыпки его в объем, времени пребывания в объеме. Определение насыпной плотности необходимо для расчета производительности машин, транспортных элементов, емкостей и т.д.

Согласно принятой нами методике насыпная плотность определялась литровой пуркой при температуре окружающего воздуха $293 \pm 1,5$ К.

При этом выполненные измерения в состоянии свободной засыпки позволили получить минимальную насыпную плотность.

Результаты опытов представлены на рис. 2. Видно, что с повышением влажности W от 0 до 260 % насыпная плотность увеличивается, что объясняется увеличением коэффициента внутреннего трения. Насыпная плотность исследуемого объекта колебалась в пределах $156,8...418$ кг/м³.

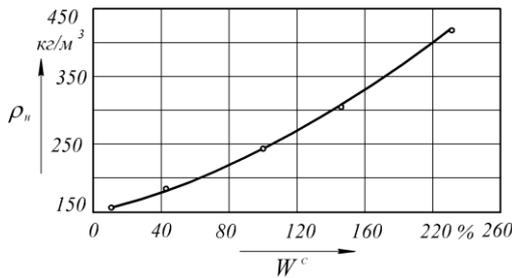


Рис. 2. Зависимость насыпной плотности кизельгура от влажности

Полученные значения насыпной плотности кизельгура позволили в дальнейшем рассчитать важную характеристику слоя дисперсного материала – порозность слоя

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_i}{\rho}$$

где ρ_n – насыпная плотность продукта, кг/м³; ρ – плотность продукта, кг/м³.

Величина порозности зависит от формы частиц состояния поверхности и характера укладки частиц в слое.

Как видно из рис. 3, с увеличением влажности кизельгура W от 0 до 260 % величина ε уменьшается от 0,88 до 0,61.

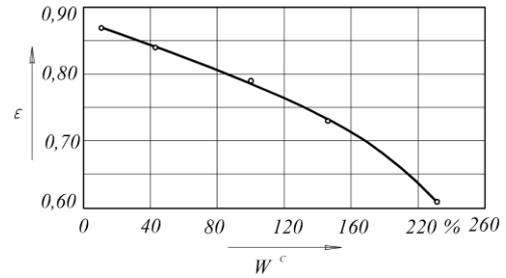


Рис. 3. Зависимость порозности слоя кизельгура от влажности

Сыпучесть частиц кизельгура характеризуется углами естественного откоса, под которыми понимается наибольший угол, который может образовывать свободная поверхность сыпучего тела с горизонтальной поверхностью.

Для идеально сыпучих тел угол естественного откоса равен углу внутреннего трения, а для связанных – больше угла внутреннего трения.

На рис. 4. показано, что величина угла естественного откоса частиц кизельгура возрастает с увеличением влажности, что объясняется действием молекулярных сил притяжения пленочной жидкости, находящейся на поверхности каждой частицы

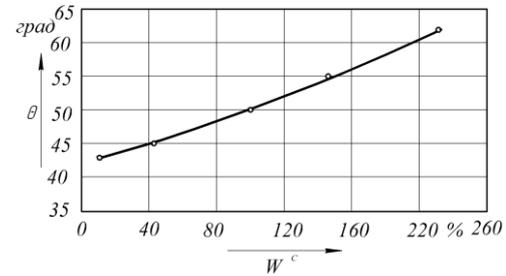


Рис. 4. Зависимость естественного откоса кизельгура от влажности

К характеристикам дисперсности материалов, состоящих из отдельных частиц (фракций) дисперсной фазы, относятся гранулометрический состав, размер частиц и кривые распределения частиц по размерам.

Гранулометрический состав фильтровального материала оказывает значительное влияние на эффективность процесса очистки.

Для характеристики гранулометрического состава кизельгура определялся эквивалентный диаметр частиц, который принимался равным диаметру шара с объемом средней частицы

$$d_y = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_{\text{ч}}}{\pi}}$$

где $V_{\text{ч}}$ – объем средней частицы, м³.

Гранулометрический состав определялся методом отсева со стандартным набором сит.

Гранулометрический состав кизельгура представлен на рис. 5 в виде гистограммы, на рис. 6 в виде дифференциальной кривой распределения.

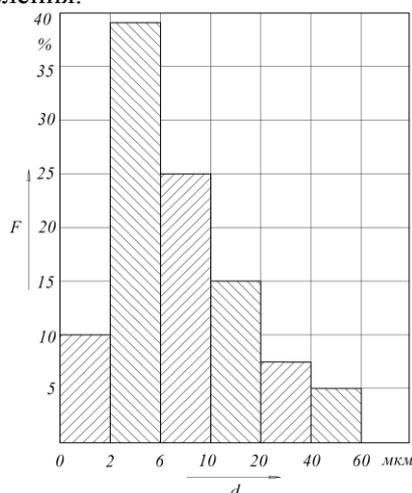


Рис. 5. Гистограмма распределения частиц кизельгура по фракциям

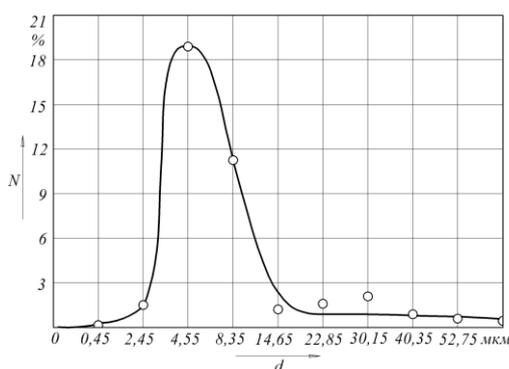


Рис. 6. Дифференциальная кривая распределения частиц кизельгура по фракциям

Научное обоснование способа регенерации влажного кизельгура, а также правильное понимание механизма переноса теплоты и влаги определяется теплофизическими характеристиками обрабатываемого материала.

Теплофизические характеристики кизельгура являются функциями состояния и свойств вещества, зависящими от многих факторов, к которым следует отнести химический состав и структуру. При этом важное значение имеет характер изменения теплофизических характеристик от основных параметров материала – температуры и влажности.

Удельную теплоемкость кизельгура определяли в соответствии с ГОСТ 23250-78 методом стационарного теплового режима, коэффициент теплопроводности – в соответствии с ГОСТ 7076-99. Коэффициент температуропроводности определяли по формуле

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (*)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³.

Используя экспериментальные данные и расчетную формулу (*), определили теплофизические характеристики для кизельгура при различной влажности и температуре материала.

Как видно из рис. 7, в интервале влажности от 0 до 160 % величины a , λ и c являются монотонно возрастающими. Их графики в данном интервале влажности не имеют переломных точек.

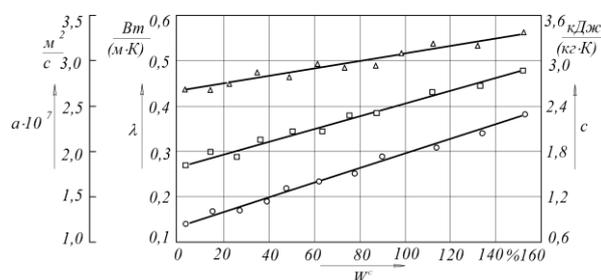


Рис. 7. Зависимость теплофизических характеристик кизельгура при температуре $T = 293$ К от влажности $W\%$: \circ – удельная теплоемкость c ; \square – коэффициент теплопроводности λ ; Δ – коэффициент температуропроводности a

В результате математической обработки экспериментальных данных получены эмпирические уравнения для определения теплофизических характеристик кизельгура:

$$\begin{aligned} c &= 0,486 + 0,0042 \cdot W^x + 0,0026T, \\ \lambda &= 0,117 + 0,0026 \cdot W^x + 0,0004T, \\ a &= (2,545 + 0,0022 \cdot W^x + 0,0005T)10^{-7}. \end{aligned}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов, С.Т. Об экономической эффективности нового способа термической регенерации кизельгура [Текст] / С.Т. Антипов, Д.М. Визир, В.В. Пойманов, С.В. Шахов // Финансы. Экономика. Стратегия. – 2010. – № 12. – С. 21-24.
2. Руденко, Е.Ю. Влияние отработанного кизельгура на нефтезагрязненную черноземную почву [Текст] / Е.Ю. Руденко // Экология урбанизированных территорий. – 2009. – № 4. – С. 79-83.
3. Беме, К. Новый способ термической регенерации кизельгура [Текст] / К. Беме, Р. Майвальд, Ф. Фрайберг, Ф. Хебмюллер // Brauwelt. Мир пива. – 2001. – № 1. – С. 18-21.
4. Schmid, N.A. Verbesserung der filtrationstechnischen Eigenschaften von Filterhilfsmitteln durch ein thermisches Verfahren. Dokt.-Ing/N.A. Schmid. – Munchen. – 2002. – 191 s.