



Алексеева Л. В.

Алексеева Л. В.,  
зав. сектором перлита, ГП «НИИСМИ», г. Киев

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМООБРАБОТКИ ПЕРЛИТА

Вспученный перлит производится в виде песка, щебня, порошка. Наибольшее применение в промышленности нашел вспученный перлитовый песок. В настоящее время в промышленности используется вспученный перлитовый песок различной насыпной плотности и зернового состава в соответствии ДСТУ Б В.2.7-157:2011 (ГОСТ 10832-2009) /1/, что определяет использование его в стройиндустрии и многих других отраслях.

**При получении вспученного перлита с требуемыми показателями необходимо учитывать влияние следующих факторов:**

- свойства перлитового сырья, характерные для каждого отдельного месторождения;
- фракционный состав сырья, поступающего на вспучивание;
- условия вспучивания, которые зависят от режимов термообработки и используемых при этом типов тепловых агрегатов.

Процесс вспучивания перлитового сырья каждого отдельного месторождения зависит от его характерных свойств.

Различные условия образования предопределяют многообразие разновидностей перлитовых пород, которые классифицируются по трем критериям: генетическому, петрографическому и технологическому.

По генетическому критерию все существующие разновидности перлитов делятся на две большие группы: первично-гидратированная порода и вторично-гидратированная порода или первичные перлиты и вторичные перлиты.

По петрографическому признаку перлитовые породы каждого отдельного месторождения имеют свои характерные особенности и отличаются различной текстурой и структурой перлитовой породы, содержанию вредных макро- и микро-примесей, количеством и составом стекловатой фазы, наличием и составом вкрапленников, пористостью, цветом, количеством и составом газовой фазы. Основной характеристикой перлитов является содержание в них воды, являющейся главным агентом вспучивания породы.

В большинстве случаев первичные перлиты имеют пористую или пемзовидную текстуру, количество структурной воды равняется от 1,5 до 4,5%. К таким перлитам относятся перлиты месторождений Армении, Грузии, Камчатки, Америки, Греции, Турции.

Вторичные перлиты могут быть представлены массивными и рыхлыми разновидностями, количество воды составляет от 4,5 до 9,5 %. К этим перлитам можно отнести перлиты месторождений Украины; России – Бурятия, Приморский край; Китая.

Таким образом, исходя из вышесказанного, перлиты отличаются широкой гаммой различных свойств, влияющих на процесс их вспучивания. Поэтому для получения вспученного перлита с требуемыми показателями необходимо выбрать оптимальные условия термообработки перлита каждого отдель-

ного месторождения и соответствующее оборудование, способное наиболее рационально реализовать эти условия.

К каждому виду сырья необходим индивидуальный технологический подход, т.е. необходимо проведение технологических исследований используемого перлитового сырья.

Методика НИИСМИ проведения таких исследований представляет собой комплекс обязательных анализов, испытаний, исследований, сочетание которых позволяет определить рациональные технологические параметры термообработки данного перлита. Применение этих параметров для термообработки перлитового сырья выявляет технологические возможности данного сырья и обеспечивает при их регулировании получение из него вспученного перлита с заданными свойствами.

**Технологические исследования включают следующие этапы.**

**Во-первых**, определение количественных и качественных характеристик перлитового сырья – минералого-петрографическое исследование, химический состав, физико-механические свойства.

**Во-вторых**, проведение исследований технологических свойств перлитового сырья, которые выполняются в двух уровнях:

**вначале** в лабораторных условиях, цель которых является определить основной технологический критерий – наименьшую насыпную плотность вспученного перлита и обеспечивающие ее получение рациональные параметры термообработки сырья (термоподготовки и вспучивания), основным из которых является температура вспучивания;

**затем** с учетом полученных результатов лабораторных исследований проведение промышленных испытаний, цель которых отработка на действующей линии технологических параметров, обеспечивающих получение из данного сырья вспученного перлита с требуемыми показателями (насыпная плотность, зерновой состав, теплопроводность, прочность и др.).

Многочисленными исследованиями установлено, что вспучиваться может вулканическое стекло определенного химического состава, строения и содержания связанной воды.

В соответствии с ДСТУ Б В.2.7-62-97 (ГОСТ 25226-96) /2/ к перлитовым и перлитосодержащим породам, применяемым для производства вспученного перлита, предъявляются следующие требования:

- химический состав должен соответствовать следующим показателям:
 

SiO <sub>2</sub> = 65-77%;	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 11-16%;
FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 0,5-6,0%;	CaO = 0,1-3,5%;
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O = 3,0-10,0%;	п.п.п. = 1,0-10,0 %;
- в зависимости от генезиса, минералого-петрографического состава (содержание макро- и микро- примесей), потерь при прокаливании перлитовую породу подразделяют на классы, а в зависимости от насыпной плотности вспученного перлита – на группы.

По химическому составу вулканические стекла представляют собой щелочные алюмосиликатные породы, содержащие воду. Перлитовые породы различных месторождений, пригодные для производства вспученного перлита, характеризуются близким химическим составом /таблица 1/.

Влияние химического состава определяется количеством основных окислов, таких, как  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{TiO}_2$ , которые повышают температуру вспучивания.

Большое содержание щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) снижает температуру размягчения породы и благоприятно сказывается на степень вспучивания перлита. Однако, присутствие большого количества щелочей может быть нежелательно, так как стекло в момент вспучивания окажется недостаточно вязким и пары воды при выделении разорвут жидкую стекловатую пленку и вспучивание не произойдет.

Повышенное содержание СаО уменьшает поверхностное натяжение расплава, что благоприятно сказывается на процесс вспучивания.

Количество содержащей в вулканических стеклах газовой фазы, состоящей из отдельных компонентов или соединений  $\text{H}_2$ ;  $\text{F}_2$ ;  $\text{Cl}_2$ ;  $\text{N}_2$ ;  $\text{H}_2$ ;  $\text{CO}_2$ ;  $\text{CO}$ ;  $\text{Fe}$ ;  $\text{Ar}$  и других газов, является основным фактором, определяющим их пригодность для получения вспученного перлита. Преобладающий компонент газовой фазы – вода (88,4- 98,5 %). Для процесса вспучивания перлитов самое важное обеспечить достаточное количество газообразователя (в основном, паров воды) во время вспучивания материала, находящегося в пиропластическом состоянии.

Температуру вспучивания перлитовой породы и минимальную насыпную плотность вспученного перлита определяют в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-62-97 (ГОСТ 25226-96) /2/ по результатам вспучивания в лабораторной трубчатой термической установке. В зависимости от класса породы испытания проводят при одностадийном вспучивании либо в две стадии с предварительной термоподготовкой, которая проводится в муфельной печи.

Полученные результаты лабораторных исследований являются основой для промышленных испытаний, а именно, рациональные параметры термообработки применяемого перлитового сырья, при которых возможно получить наименьшую насыпную плотность вспученного перлита: температура вспучивания, параметры предварительной термоподготовки (температура, время выдержки при этой температуре и количество остаточного влажосодержания).

По температуре вспучивания различают перлиты с низкой (800-1000°C), средней (свыше 1000-1200°C) и высокой (более 1200 до 1250°C) температурой : соответственно легко-, средне- и трудно-вспучивающиеся разновидности.

В таблице 1 приведены результаты испытаний перлитов различных месторождений по определению температуры вспучивания и рациональных параметров получения минимальной насыпной плотности.

Как видно из таблицы, перлиты месторождений Армении, Грузии, Греции, Турции, Венгрии и Магаданское России можно отнести к перлитам, имеющим низкую температуру вспучивания, перлиты месторождений Украины, Монголии и Мухор-Талинское России к перлитам со средней температурой вспучивания, перлит месторождений Казахстана – к перлитам с высокой температурой вспучивания.

Минимальная насыпная плотность вспученного перлита может быть получена по одно-стадийной технологии из первичных перлитов, к которым относится перлитовое сырье месторождений Армении, Грузии, Греции, Турции, Венгрии, Магаданское России., и по двух-стадийной технологии из вторичных перлитов, к которым относится перлитовое сырье месторождений Украины, Монголии,

Казахстана, Мухор-Талинское России. Во время промышленных испытаний необходимо отработать параметры термоподготовки и вспучивания перлитового сырья, обеспечивающие получение из него вспученного перлита с показателями, отвечающими требованиям использования его в соответствующих отраслях промышленности.

Эксплуатационные характеристики вспученного перлита и, соответственно, его качество зависят, в основном, от характера его пористой структуры и размера зерен.

Термообработка перлитового сырья может осуществляться по одно-стадийной схеме – только вспучивание сырья и по двух-стадийной схеме, а именно: вначале – предварительная термоподготовка, а затем – вспучивание.

При нагревании вулканических стекол происходит выделение летучих, а именно, в основном, паров воды и некоторых газов, за счет которых при определенных температурах происходит вспучивание стекла и образование пористого материала. Преимущественное влияние на формирование пористой структуры вспученного перлита оказывает количество структурной воды (порообразователя) в перлитовом сырье.

При применении одностадийной технологии параметром регулирования процесса термообработки является температура вспучивания, а количество структурной воды в сырье при этом не подлежит регулированию. Поэтому невозможно получить вспученный перлитовый песок требуемой для различных потребителей пористой структуры и фракции. Частицы вспученного перлита имеют, в основном, ярко выраженную открыто-пористую структур, что предопределяет их большое водопоглощение и малую прочность. Это ограничивает использование вспученного перлита во многих отраслях промышленности, особенно в строительстве.

Двух-стадийная технология предусматривает применение предварительной термоподготовки перед вспучиванием, что позволяет изменять количество связанной воды в сырье и соответственно получать частицы вспученного перлита с различной пористой структурой (мелко-пористой или преимущественно-закрытой пористостью), соответствующие требуемым характеристикам конечного продукта, а также, благодаря удалению слабо связанных летучих, снижается растрескивание зерен перлита при вспучивании.

Термоподготовку необходимо проводить при соблюдении двух условий – при возможно более полном удалении летучих, связь которых с элементами структуры в перлите разрушается при температуре меньше 500°C, и при возможно более полной релаксации напряжений, проявляемых при этом отрицательными структурными деформациями.

Для определения параметров термоподготовки сырья был проведен комплекс исследований, включающий дифференциально-термический, дериватографический и дилатометрический анализы, в результате которых можно достаточно объективно определить рациональные области процесса предварительной термоподготовки (температуру и время).

Дилатометрические исследования позволяют получить характеристики структурных деформаций при изотермической выдержке, соответствующей температуре начала отрицательных деформаций с развернутой записью во времени. Дериватографические исследования позволяют при аналогичных с дилатометром температурно-временных режимах нагрева получить количественную характеристику выделяемых летучих в виде кривой потери веса. Каждой температуре нагрева соответствует определенный максимум потери воды, выраженный в виде потери веса.

Характеристика перлитового сырья и полученного из него вспученного перлита

Месторождение	Химический состав, %										Температура вспучивания, °С	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п.		1-стадий- ная термо- обработка	2-стадий- ная термо- обработка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Первичные перлиты</b>													
<b>Армения</b>													
Арагацкое	72,30	12,76	0,85	0,11	0,83	0,40	0,01	3,90	5,40	3,40	950-1000	60-80	150-210
	74,15	11,90	0,71	0,10	1,72	0,13	0,27	4,02	4,40	3,52			
	73,79	12,62	1,82	0,18	1,13	0,18	0,07	3,60	4,10	2,06			
<b>Грузия</b>													
Параванское	70,57- 71,28	13,06	1,00- 1,20	0,10- 0,18	0,88- 1,03	0,20- 0,34	0,10- 0,23	3,27- 5,11	3,45- 4,31	4,22- 4,78	900-1000	45-70	110-180
	73,28		12,93	0,92	0,13	0,68	0,23	0,00	4,18	3,00			
	<b>Греция</b>												
о. Милос	75,24	12,47	1,49	0,14	1,59	0,40	0,03	3,20	2,20	2,5	1000-1050	65-70	105-180
<b>Турция</b>													
Билесик	73,20- 74,13	12,45- 13,50	0,79- 1,20	0,09	0,45- 0,65	0,03- 0,30	-	3,81- 3,35	3,90- 4,37	3,26- 3,90	950-1000	50-75	90-145
<b>Венгрия</b>													
Палхаза	73,50	13,0	1,0	0	1,5	0,4	-	3,5	3,8	3,00	1000-1050	85-100	130-180
	73,99	13,01	1,38	0,16	1,74	0,15	сл.	3,14	3,50	3,18			
<b>Россия (Камчатка)</b>													
Паратунское	75,84	13,00	1,19	0,27	1,59	0,42	0,18	2,76	2,40	1,94	1100	75-110	130-200
<b>Россия (Магаданская область)</b>													
Уптарское (вулканический пепел)	70,32	14,13	1,55	0,26	0,69	0,49	0,01	4,67	3,75	4,16	1000	40-55	70-115
<b>Вторичные перлиты</b>													
<b>Украина (Берегово)</b>													
Фошош	74,66	12,07	1,88	0,14	1,32	0,05	0,08	1,57	3,15	4,70	1150-1200	120-210	70-90
	74,38	12,93	1,36	0,14	1,17	0,08	0,03	1,56	2,91	5,50			
	73,48	13,56	1,36	0,11	1,17	0,00	0,03	1,56	2,91	5,50			
<b>Россия</b>													
Мухор-Талинское	71,06	13,21	0,68	0,04	0,18	0,02	0,02	1,64	4,06	5,89	1050-1000	200-280	75-110
	70,70	12,45	1,10	0,20	2,13	0,33	-	0,70	4,80	8,63			
<b>Монголия</b>													
Элиген-Булаг	73,80	11,70	0,95	0,11	0,68	1,05	0,18	2,97	5,70	2,87	1150-1200	120-150	75-110
	74,44	12,20	0,85	0,11	0,63	1,60	0,20	5,07	5,00	1,36			
	75,89	11,60	1,10	0,09	0,42	0,90	0,04	3,15	5,70	1,14			
<b>Казахстан</b>													
Айгульское	72,50	10,23	1,36	0,08	1,32	0,56	0,02	3,59	3,39	5,58	1250-1280	300-350	100-120

Сочетание данных этих анализов дает возможность определить рациональные параметры термopодготовки перлитового сырья, способствующие более плавному ведению процесса вспучивания. К ним относятся температура и время пребывания материала при этой температуре, которые обеспечивают необходимое количество структурной воды при релаксации структурных напряжений, появляющихся во время выделения воды при нагреве сырья.

Были проведены дериватографические и дилатметрические исследования перлитов различных месторождений [3], в результате которых определены рациональные параметры их термopодготовки, обеспечивающие заданную пористую структуру материала: для первичных перлитов Арагацкого месторождения – это температура 300-350 °С; для вторичных перлитов месторождения Фошош Украины и Мухор-Талинского месторождения Бурятии – это температура соответственно 300-400 °С и 350-450 °С и время выдержки при этой температуре в зависимости от требуемых характеристик готового продукта.

**Таким образом, двух-стадийное ведение процесса термopобработки перлитового сырья предусматривает регулирование следующих параметров:**

**первая стадия** – термopодготовка перлитового сырья-регулируемыми параметрами являются количество остаточного влагосодержания, т.е структурной воды (порообразователя) после термopодготовки, определяемое контролем потерь при прокаливании, и интервал температур термopодготовки, определяемый при сочетании данных термогравиметрического и дилатометрического анализов;

**вторая стадия** – вспучивание термopодготовленного сырья – основным регулируемым параметром является температура вспучивания.

Результаты проведенных исследований по определению рациональных параметров термopобработки перлитов различных технологических свойств, обеспечивающих получение вспученного перлита с требуемыми эксплуатационными характеристиками, подтверждены данными, полученными

при проведении промышленных испытаний с использованием перлитов различных месторождений на действующей технологической линии, которая создана по усовершенствованной 2-х стадийной технологии НИИСМИ.

Разработанная технология предусматривает ведение термообработки узкофракционированного перлитового сырья различных месторождений в две стадии – вначале предварительную термopодготовку в печи термopодготовки кипящего слоя (агрегат разработан совместно с Институтом газа НАН Украины) и затем вспучивание в шахтной печи /3, 4/. Применение для термopодготовки сырья агрегата кипящего слоя позволяет регулировать количество структурной воды (порообразователя) в перлитовом сырье при его термopодготовке, т.е. изменить его технологические свойства /5/.

Промышленные испытания перлитов различных месторождений по усовершенствованной 2-х стадийной технологии НИИСМИ были проведены на технологической линии Броварского ЗСК /5/.

**Основными параметрами регулирования на линии являются:**

- фракционный состав сырья, поступающего на термообработку. Применение узкофракционированного сырья позволяет достичь максимального значения коэффициента вспучивания для каждой отдельной фракции, уменьшая при этом потери с просыпью недовспученных и выносом мелких пылевых частиц при вспучивании в шахтной печи, и таким образом способствует увеличению суммарного объема готового вспученного продукта;
- процесс термopодготовки сырья в печи кипящего слоя контролируется основным параметром – количеством остаточного влагосодержания  $W_{ост}$  в термopодготовленном сырье (потери при прокаливании), изменение которого зависит от величины загрузки сырья в печь термopодготовки, температуры и времени пребывания материала в печи; конструкция агрегата обеспечивает стабильное заданное качество термopодготовленного сырья по количеству структурной воды для каждой узкой фракции сырья в диапазоне 100-550°C и однородность размера частиц (за счет выделения пылевидной фракции менее 0,14 мм) и их аэродинамическим характеристикам;
- процесс вспучивания термopодготовленного сырья в шахтной печи вспучивания контролируется ве-

личной загрузки термopодготовленного сырья в печь  $G_c$ , температурой  $t$  и разрежением  $p$  в печи и определением насыпной плотности  $\gamma_{в.п.}$  и фракционного состава полученного вспученного перлита при этих параметрах.

Полученные взаимозависимости технологических параметров и качественных показателей вспученного перлита позволяют определить рациональные технологические режимы термообработки перлитов различных месторождений с учетом их технологических особенностей, и в результате получить на их основе вспученный перлит с требуемыми для различных потребителей пористой структуры и фракции.

На рис. 1 представлена номограмма определения рациональных технологических параметров термopодготовки перлитового сырья месторождения Фогош Украины. На основе экспериментальных данных, полученных на усовершенствованной технологической линии, разработана математическая модель процесса термopодготовки перлитового сырья. С ее помощью построены номограммы определения рациональных технологических параметров в печи вспучивания для фракций сырья 0,14-0,63 мм; 0,315-1,25 мм; 0,63-2,5 мм ( $t$  – температура,  $p$  – разрежение,  $W_{ост}$  – количество структурной воды,  $G_c$  – загрузка сырья в печь). На рис. 2 представлена номограмма для фракции сырья 0,63-2,5 мм.

Особенность усовершенствованной 2-х стадийной технологии НИИСМИ – это регулирование параметров термopодготовки перлитового сырья в широких пределах на всех технологических стадиях. Особенно большое значение имеет регулирование процесса предварительной термopодготовки перлитового сырья, обеспечивающего изменение свойств сырья различных месторождений и, как следствие, расширение его потенциальных технологических возможностей (табл.1).

Такая технология является универсальной для термopодготовки перлитового сырья различных месторождений и позволяет получить как из первичных, так и из вторичных перлитов, вспученный перлит с требуемыми для различных отраслей качественными показателями: однородный по грансоставу или легкий с развитой открытой пористостью, или более плотный с преимущественно-закрытой пористостью, с пониженным водопоглощением и повышенной прочностью, что очень важно для применения этого материала в строительстве /6/ как заполнителя для легких бетонов, в сухих строительных смесях, и др.

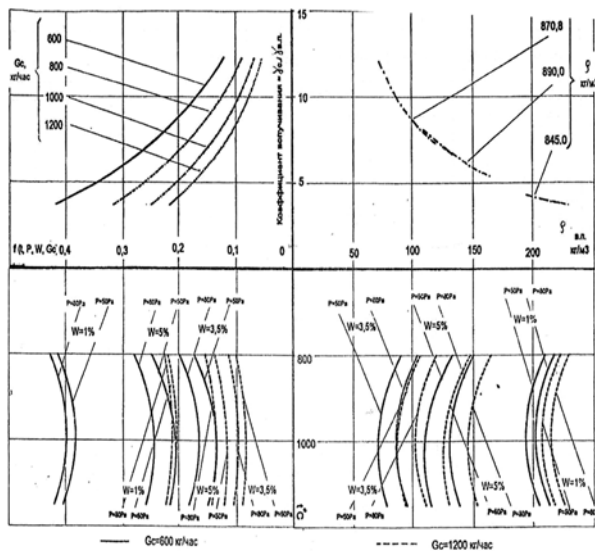


Рис. 1 Номограмма определения рациональных технологических параметров перлитового сырья месторождения Фогош в печи вспучивания (для фракции сырья 0,63-2,5 мм)

**Литература:**

1. ДСТУ Б В.2.7-157:2011 (ГОСТ 10832) «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия».
2. ДСТУ Б В.2.7-157:2011 (ГОСТ 10832-2009) «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия».
3. Алексеева Л.В. / Совершенствование предварительной термopодготовки перлитового сырья путем применения агрегатов кипящего слоя.// Будівельні матеріали, виробництва та санітарна техніка.- 2003.- №18.- С.17-20.
4. Алексеева Л.В. / Технологические особенности производства вспученного перлита из сырья различных месторождений // Строительные материалы и изделия. – 2005. – №6. – С.25-29.
5. Алексеева Л.В. / Особенности предварительной термopодготовки перлитового сырья различных месторождений для производства вспученного перлита с улучшенными показателями // Строительные материалы. – 2013. – № 3. – С.26-29.
6. Алексеева Л.В., Нагиевский С.Ю. / Опыт применения вспученного перлита в строительстве.// Строительные материалы. – 2013. – №5-6. – С.62-64.