

Загороднюк Л. Х., канд. техн. наук, проф.,

Окунева Г. Л., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СМЕШЕНИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ\*

LHZ47@mail.ru

На основании ранее проведенных исследований по смешению ингредиентов сухих теплоизоляционных смесей в экспериментальных установках получены результаты рассева на стандартных ситах. Проведен анализ качества смешения сухих строительных смесей в различных смесительных агрегатах: пневматическом и спирально-лопастном смесителях. Выполнены статические расчеты полученных экспериментальных результатов с использованием стандартного пакета статических функций пакета Excel. Статические исследования, проводимые при достаточно высоком уровне доверия ( $P=0,95$ ), подтвердили гипотезу об эффективности использования спирально-лопастного смесителя, обеспечивающего гарантированное качество смешения, с высокой степенью однородности при максимальной сохранности требуемых размеров зерен легких пористых заполнителей, не нарушая их массового гранулометрического соотношения.

**Ключевые слова:** смешение компонентов сухих строительных смесей в различных смесительных агрегатах, анализ качества статистическим методом, коэффициент вариации.

**Введение.** На стадии подготовки и приготовления сухих строительных смесей необходимо создать наиболее эффективные условия для механических воздействий на сырьевые компоненты при получении наилучших условий для их самоорганизации, равномерного распределения комплексных добавок, активизации вяжущих и наполнителей. Смешение отдозированных материалов является наиболее важной технологической операцией большинства технологий. Особая значимость этого процесса относится к сухим строительным смесям. При перемешивании сырьевые составляющие смеси должны равномерно распределиться по всему микро- и макрообъему сухой композиции, что обеспечит высокую однородность и качество сухой смеси и при последующем затворении водой высокие технологические и эксплуатационные свойства затвердевших растворов. В традиционных технологиях приготовления бетонов эффективность смешения оценивается с помощью коэффициента неоднородности. Важным условием при перемешивании ингредиентов теплоизоляционных сухих смесей является обеспечение максимальной сохранности требуемых размеров зерен заполнителей, не нарушая их массового гранулометрического соотношения.

**Методика.** Методом статистического анализа проведено сравнение результатов качества смешения ингредиентов сухих теплоизоляционных смесей. Статические расчеты полученных экспериментальных результатов проводились с использованием стандартного пакета статических функций пакета Excel.

**Основная часть.** Смешение отдозированных сырьевых компонентов сухих строительных теплоизоляционных смесей одинакового состава осуществлялось в различных смесительных агрегатах: в пневматическом и спирально-лопастном смесителях.

Результаты рассева сухих теплоизоляционных смесей после смешения в пневматическом и спирально-лопастном смесителях приведены в табл. 1.

Проведем сравнительный анализ полученных результатов для остатков на различных ситах: 1,2; 0,63; 0,315; 0,125 с числом опытов - 51 ( $n=51$ ) пневматического и спирально-лопастного смесителей (табл.1).

Результаты сравнительного анализа полученных результатов для остатков на сите 1,2 для пневматического и спирально – лопастного смесителей приведены в табл. 2.

Исследования на однородность используемых результатов проверялись по критерию Фишера:

$$F_{\text{набл}} = \frac{S_6^2}{S_M^2} = \frac{0,076063}{0,069942} = 1,087511 \quad (1)$$

Критическое значение критерия находили при условии коэффициента значимости  $\alpha=0,05$  и числе степеней свободы 50:  $F_{kp}=1,61$ . По критерию Фишера остатки на сите 1,2 можно считать однородными. Для доказательства равенства средних значений обеих выборок находим усредненную дисперсию по формуле:

$$\bar{s} = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2)$$

Таблица 1

## Результаты рассева сухой строительной смеси после смешения

Пневматический смеситель							Спирально – лопастной смеситель						
№	Остатки на ситах, % по массе				Проход через сито 0,25, % по массе	Сумма	№	Остатки на ситах, % по массе				Проход через сито 0,25, % по массе	Сумма
	1,2	0,63	0,315	0,125				1,2	0,63	0,315	0,125		
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	0,6	2,5	12	48	36,9	100	1	1	14	26	39	20	100
2	0,7	2,7	11	49	36,6	100	2	1	15	27	41	16	100
3	0,7	2,9	13	47	36,4	100	3	1	15	26	42	16	100
4	0,7	2,9	10	49	37,4	100	4	1,5	14,7	13	35	35,8	100
5	0,6	3,0	9	48	39,4	100	5	1	14	12	33	40	100
6	0,5	3,1	9	50	37,4	100	6	0,8	13,9	15	31	39,3	100
7	0,4	3,5	19	40	37,1	100	7	0,6	15,1	28	28	27,7	100
8	0,3	3,4	18	41	37,3	100	8	0,5	14,5	30	30	25	100
9	0,2	3,6	17	42	37,2	100	9	0,4	13,9	31	32	22,7	100
10	0,6	5,1	19	43	32,3	100	10	1	19,1	31	36	12,9	100
11	0,7	5,0	17	44	33,3	100	11	1	20	29	35	15	100
12	0,6	4,9	19	40	34,9	100	12	0,9	21,1	28	33	17	100
13	0,4	4,1	16	44	35,5	100	13	1	19	27	31	22	100
14	0,6	4,3	14	43	38,1	100	14	1	18	26	30	25	100
15	0,7	4,5	15	42	37,8	100	15	0,9	17	25	29	27,1	100
16	0,5	3,1	17	48	31,4	100	16	0,8	14,16	24	42	19,04	100
17	0,5	3,3	16	50	30,2	100	17	1	13,15	25	40	15	100
18	0,4	3,4	14	51	31,2	100	18	1,1	13,0	26	42	17,9	100
19	0,3	4	7	40	48,7	100	19	0,7	17	17	24	41,3	100
20	0,3	4	9	39	47,7	100	20	1	15	15	26	43	100
21	0,2	3	10	42	44,6	100	21	1,2	12	14	27	45,8	100
22	0,5	3,6	12	31	52,9	100	22	1,1	17	18	31	32,9	100
23	0,4	3,7	15	29	51,9	100	23	1	16	20	33	30	100
24	0,3	3,9	14	32	49,8	100	24	0,8	14	21	32	32,2	100
25	0,9	3,4	14	35	46,7	100	25	1,2	14,3	18	34	32,5	100
26	1,0	3,5	17	33	45,5	100	26	1,5	13,5	20	35	30	100
27	0,7	3,7	19	32	44,6	100	27	1,6	12,8	22	36	27,6	100
28	0,8	3	10	40	43,2	100	28	1,2	15	13	29	41,8	100
29	0,9	3,3	9	43	43,8	100	29	1	14	15	30	40	100
30	0,7	2,9	13	39	44,4	100	30	0,8	13	16	33	37,2	100
31	0,8	3,3	13	29	53,9	100	31	1,1	12	16	41	29,9	100
32	0,9	3,7	11	30,1	54,3	100	32	1	14	15	40	30	100
33	1,1	4,1	9	32	53,8	100	33	0,8	15	13	42	29,2	100
34	0,8	3	19	22	55,2	100	34	1,4	18	31	34	15,6	100
35	0,7	5	17	26	51,3	100	35	1	20	29	35	15	100
36	0,6	4	18	24	53,4	100	36	0,9	21	28	36	14,1	100
37	0,7	3,9	12	39	44,4	100	37	0,7	19	25	32	23,3	100
38	0,9	4	14	41	40,1	100	38	1	18	26	30	25	100
39	0,8	4,2	11	42	42,0	100	39	1,2	15	27	28	28,8	100
40	1,4	3,7	26	31	37,9	100	40	1,3	16,9	33	24	24,8	100
41	1,5	3,9	24	29	41,6	100	41	1,5	18,5	30	25	25	100
42	1,6	4,2	21	29	44,2	100	42	1,7	19,1	29	27	23,2	100
43	0,9	3	15	36	46,1	100	43	1,1	13	17	25	43,9	100
44	0,7	5	13	37	44,3	100	44	1	15	15	26	43	100
45	0,6	4	12	38	45,4	100	45	0,8	16	14	28	41,2	100
46	0,8	5	18	24	48,2	100	46	0,7	16	22	27	34,3	100
47	0,7	4	17	25	53,3	100	47	1	14	25	25	35	100
48	0,9	3	16	26	54,1	100	48	1,2	13	28	21	36,8	100
49	0,4	3,2	11	35	50,4	100	49	0,8	13,9	32	29	24,3	100
50	0,3	3,4	13	34	49,3	100	50	0,5	14,5	30	30	25	100
51	0,3	3,5	15	33	48,2	100	51	0,4	15,1	27	32	25,5	100

Значимость расхождения средних результатов оценивали по  $t$ - критерию:

$$t_n = \frac{|X_1 - X_2|}{S} \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}} = 23,66905 \quad (3)$$

где:  $n_1, n_2$  – объемы выборок,  $\bar{S}$  подсчитано для числа степеней свободы  $n_1 + n_2 - 2$ .

Табличное значение  $t$ - критерия при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и общем числе степеней свободы ( $n_1 + n_2 - 2$ ) составляет:  $t_{кр}=2,04$ . Т.к.  $t_n > t_{кр}$ , то различие между средними величинами носит систематический характер. Среднее зна-

чение остатков при смешении в спирально-лопастном смесителе значительно больше. Оба распределения можно считать близкими к нормальному распределению, но уровень значимости смешения в спирально-лопастном смесителе более высокий ( $\alpha_1=0,05$  и  $\alpha_2=0,01$ ).

При приблизительно одинаковом доверительном интервале ( $\Delta_x$ ), сам доверительный интервал для среднего значения смещается в большую сторону в процентах по массе.

Таблица 2

### Сравнительный анализ полученных результатов для остатков на сите 1,2 для пневматического и спирально – лопастного смесителей

Показатели	Пневматический смеситель	Спирально лопастной смеситель	Замечания
1. Диапазон остатков	0,2 – 1,6	0,4 – 1,6	$x_{\max} - x_{\min}$
2. Среднее выборочное $x$	0,703922	1,052941	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$
3. Выборочная дисперсия	0,076063	0,069942	$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2$
4. Среднее квадратическое отклонение	0,275799	0,264466	$s = \sqrt{S^2}$
5. Стандартная ошибка	0,038619	0,037033	$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$
6. Коэффициент вариации	0,391798	0,251169	$v = \frac{S100\%}{\bar{x}}$
7. Доверительный интервал для среднего	0,626297 – 0,781546	0,978506 – 1,127377	
8. Доверительный интервал для дисперсии	0,056343 – 0,109475	0,051809 – 0,380636	
9. Доверительный интервал для среднего квадратического отклонения	0,237367 – 0,33087	0,227616 – 0,616957	

Аналогичные сравнения результатов можно провести и по остаткам на ситах: 0,63; 0,315; 0,125. Сравнительный анализ полученных ре-

зультатов для остатков на сите 0,63 для пневматического и спирально – лопастного смесителей приведен в табл. 3.

Таблица 3

### Сравнительный анализ полученных результатов для остатков на сите 0,63 для пневматического и спирально – лопастного смесителей

Показатели	Пневматический смеситель	Спирально лопастной смеситель	Замечания
1. Диапазон остатков	2,5 – 5,1	12 – 21	Существенная разница
2. Среднее выборочное $x$	3,720588	15,86275	
3. Выборочная дисперсия	0,366782	5,843906	
4. Среднее квадратическое отклонение	0,6056225	2,417417	
5. Стандартная ошибка	0,084805	0,338506	
6. Коэффициент вариации	0,162777	0,152396	
7. Доверительный интервал для среднего	3,669228 – 3,771948	15,18235 – 6,54314	
8. Доверительный интервал для дисперсии	0,27169 – 0,527896	4,328819 – 8,410919	
9. Доверительный интервал для среднего квадратического отклонения	0,521239 – 0,726564	2,080582 – 2,900158	

По критерию Фишера эти результаты неоднородны:  $F_n = \frac{5,843906}{0,366782} = 15,933$  и

доказательства равенства средних посчитали по формуле:

$F_{кр}(0,05;50) = 1,61$ . Значение  $t$  – критерия для

$$t_n = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} = 34,794537$$

при  $t_{кр(0,05;50)} = 2,01$  (4)

Различия средних носит существенный характер. Оба распределения похожи на нормальное: ( $\alpha_1 = 0,05$ ;  $\alpha_2 = 0,01$ ). Доверительные интервалы для смешения сухих теплоизоляционных

смесей в пневматическом и спирально-лопастном смесителях существенно различны, отличаются более, чем на порядок.

Сравнительный анализ полученных результатов для остатков на сите 0,315 для пневматического и спирально – лопастного смесителей приведен в табл. 4.

Таблица 4

**Сравнительный анализ полученных результатов для остатков на сите 0,315 для пневматического и спирально – лопастного смесителей**

Показатели	Пневматический смеситель	Спирально лопастной смеситель	Замечания
1. Диапазон остатков	7 – 26	12 – 33	
2. Среднее выборочное $\bar{x}$	14,87255	23,07843	Существенная разница
3. Выборочная дисперсия	14,78278	39,3762	
4. Среднее квадратическое отклонение	3,844838	6,275046	
5. Стандартная ошибка	0,538385	0,878682	
6. Коэффициент вариации	0,258519	0,271901	
7. Доверительный интервал для среднего	13,7904 – 15,9547	21,31228 – 24,84458	Значительное расхождение
8. Доверительный интервал для дисперсии	10,9502 – 21,2763	29,16756 – 56,67271	
9. Доверительный интервал для среднего квадратического отклонения	3,309109 – 4,612624	5,4007 – 7,528128	

По критерию Фишера результаты неоднородны ( $F_n = 2,663654 > F_{кр}$ ) и по  $t$  критерию (Стьюдента) различия носят систематический характер ( $t_n = 7,9629712 > t_{кр}$ ).

Остатки на сите 0,315 при использовании пневматического смесителя подчиняются нормальному закону. Остатки, полученные при смешении в спирально-лопастном смесителе, не

подчиняется нормальному закону. Доверительные интервалы для средних величин существенно отличаются.

Сравнительный анализ полученных результатов для остатков на сите 0,125 для пневматического и спирально – лопастного смесителей приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Сравнительный анализ полученных результатов для остатков на сите 0,125 для пневматического и спирально – лопастного смесителей**

Показатели	Пневматический смеситель	Спирально лопастной смеситель
1. Диапазон остатков	22 – 52	21 – 42
2. Среднее выборочное $\bar{x}$	38,05882	32,54
3. Выборочная дисперсия	60,29066	26,00365
4. Среднее квадратическое отклонение	7,764706	5,099378
5. Стандартная ошибка	1,087276	0,714056
6. Коэффициент вариации	0,204019	0,158096
7. Доверительный интервал для среднего	35,8734 – 40,24425	30,81965 – 33,690
8. Доверительный интервал для дисперсии	44,65915 – 86,77412	19,26196 – 37,4261
9. Доверительный интервал для среднего квадратического отклонения	6,682795 – 9,312263	4,388845 – 6,117687

Сравнительный анализ полученных результатов для остатков по проходу через сито 0,125 для пневматического и спирально – лопастного смесителей приведен в табл. 6.

По критерию Фишера выборки неоднородны ( $F_n = 2,318546 > F_{кр}$ ) и различия средних но-

сят систематический характер ( $t_n = 4,46186 > t_{кр}$ ). Распределение остатков, полученных при смешении в спирально-лопастном смесителе подчиняется нормальному закону.

Таким образом, при смешении сухих теплоизоляционных смесей в спирально-лопастном

смесителе средние значения остатков на ситах 1,2; 0,63; 0,315 имеют значительно большие значения, т.е. смешение не приводит к переизмельчению материала, что негативно отражается на физико-механических и технико-эксплуатационных свойствах конечного материала. На последнем сите 0,125 средние значения при смешении сухих теплоизоляционных смесей

в спирально-лопастном смесителе ниже, чем при смешении в пневматическом смесителе. Средние значения мелкой фракции имеют существенную разницу: 80,74509 для пневматического смесителя и 64,63804 для спирально-лопастного смесителя, т.е. переизмельчения в процессе смешения не наблюдается.

Таблица 6

### Сравнительный анализ полученных результатов для остатков по проходу через сито 0,125 для пневматического и спирально – лопастного смесителей

Показатели	Пневматический смеситель	Спирально лопастной смеситель
1. Диапазон остатков	30 – 55	13 – 45
2. Среднее выборочное $\bar{x}$	42,686	29,098
3. Выборочная дисперсия	44,13687	84,01
4. Среднее квадратическое отклонение	6,6436	9,1657
5. Стандартная ошибка	0,93	1,28
6. Коэффициент вариации	0,1556	0,3149
7. Доверительный интервал для среднего	40,8164 - 44,556	26,5184 – 31,6778
8. Доверительный интервал для дисперсии	32,6998 – 63,525	62,230 - 120,92
9. Доверительный интервал для среднего квадратического отклонения	5,7179 – 7,970	7,89 – 10,97

Графическая интерпретация кривых общего распределения остатков на ситах для пневматического и спирально-лопастного смесителей, приведенных на рис. 1, свидетельствуют об эффективности использования спирально-лопастного смесителя, обеспечивающего сохранение фракционного состава смеси, не

допуская дополнительного измельчения материала.

Можно оценить интервалы изменения остатков на тех ситах, для которых распределения подчиняются нормальному закону, именно, для смешения в спирально-лопастном смесителе:  $\bar{x} - 3s \leq x \leq \bar{x} + 3s$

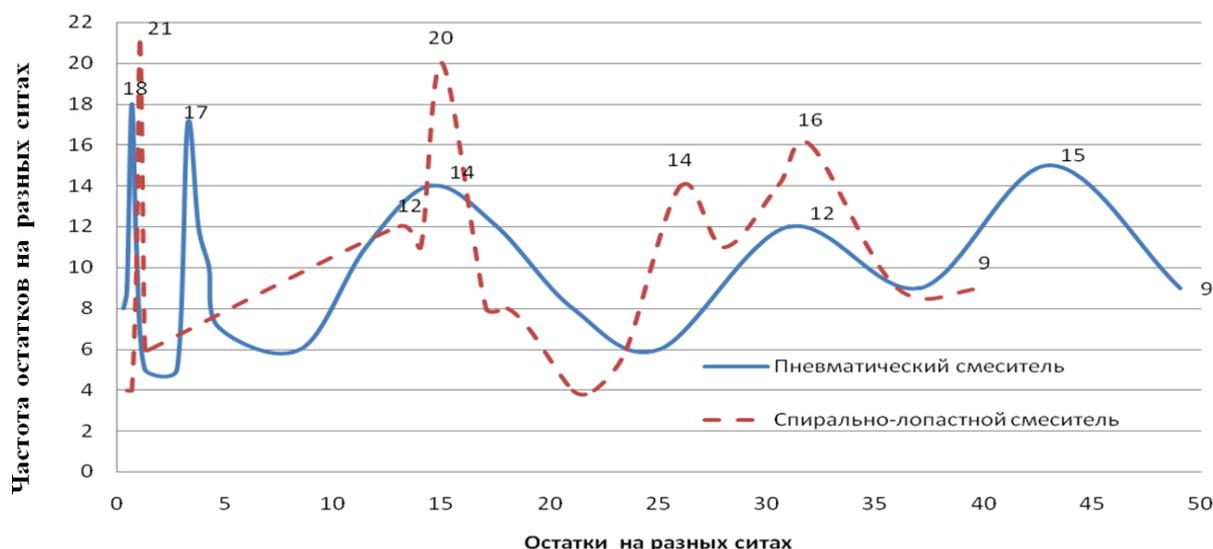


Рис. 1. Общее распределение остатков на ситах в различных смесителях

а) сито 1,2:  $0,259543 \leq x \leq 1,846339$

б) сито 0,63:  $8,610499 \leq x \leq 23,115$

в) сито 0,125:  $16,95677 \leq x \leq 47,553$

Следует заметить, что остатки на ситах 0,63 и 0,125 покрывают диапазон остатков без учета остатков на сите 0,315 с вероятностью  $P=0.997$ .

Все расчеты имеют небольшой коэффициент вариации:  $V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%$ , что свидетельствует об однородности выборок по изучаемому признаку.

**Выводы.** Таким образом, статические исследования, проводимые при достаточно высоком уровне доверия ( $P=0,95$ ), подтверждают гипотезу о более высоком качестве работы спирально-лопастного смесителя. Использование спирально-лопастного смесителя для смешения сырьевых компонентов с различными плотностями целесообразно, он полностью удовлетворяет технологическим требованиям смесительного агрегата для смешения компонентов с низкой плотностью и рекомендуется для приготовления сухих теплоизоляционных смесей, обеспечивает высокое качество смешения и сохранность гранулометрического состава смесей, не допуская их дополнительного измельчения.

*\*Статья подготовлена по результатам выполнения г/б НИР №1978 от 31.01.2014г. в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки РФ.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орехова Т.Н. Определение производительности сухих строительных смесей с учетом

анализа устройств смесительных агрегатов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 65-68.

2. Загороднюк Л.Х., Орехова Т.Н., Шкарин А.В. Пневматические смесители для приготовления сухих строительных смесей // Материалы и технологии XXI века: сборник статей X Международной научно-технической конференции. Пенза: Приволжский дом знаний. 2012. С. 102-105.

3. Загороднюк Л.Х., Орехова Т.Н., Шкарин А.В. К вопросу оценки качества смешения сухих строительных смесей // Материалы и технологии XXI века: сборник статей X Международной научно-технической конференции. Пенза: Приволжский дом знаний. 2012. С. 51-54.

4. Воронов В.П., Несмеянов Н.П., Горшков П.С. Спирально-лопастной противоточный смеситель для производства сухих строительных смесей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №1. С. 66-69.