

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра автомобильных дорог и строительных материалов

РАСЧЕТ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ДОБАВКОЙ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Методические указания

Составитель
В. И. Турчанинов

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство и 08.04.01 Строительство

Оренбург
2021

УДК 691:32(076.5)

ББК 38.33я7

Р 24

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Л.В. Солдатенко

Р 24 **Расчет состава тяжелого бетона с добавкой золошлаковой смеси тепловых электростанций** : методические указания / составитель В. И. Турчанинов; Оренбургский гос. ун-т. Оренбург : ОГУ, 2021. – 16 с.

Методические указания к практическим занятиям излагают порядок выполнения расчета состава тяжелого бетона с добавкой золошлаковой смеси ТЭС и его корректировку для обеспечения заданных свойств

Методические указания предназначены для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций», и 08.04.01 Строительство, профиль «Ресурсо- и энергосберегающие технологии в строительном материаловедении», всех форм обучения.

УДК 691.328(076.5)

ББК 38.33я7

© Турчанинов В.И.,
составление 2021

© ОГУ, 2021

Содержание

Введение.....	4
1 Общие положения.....	5
2 Расчет состава бетона с использованием золошлаковой смеси для частичной замены песка и природного щебня.....	6
3 Пример расчета.....	14
Список использованных источников	16

Введение

Утилизация промышленных отходов является крайне актуальной задачей. Повсеместно значительные площади земельных угодий заняты отвалами шлаков металлургических, золошлаковых смесей тепловых электростанций (ТЭС), вскрышных и вмещающих горных пород. Учитывая бурный рост промышленного производства, а соответственно и объема отходов, решение проблемы их утилизации приобретает первостепенное значение.

В то же время материалы, находящиеся в этих отвалах, как правило, являются ценным сырьем для производства строительных материалов. Это позволяет на 40 % удовлетворить потребности в сырье, от 10 % до 30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов в сравнении с производством их из природного сырья, сократить объем капитальных вложений от 30 % до 50 %.

И если вопрос с использованием доменных гранулированных шлаков для производства портландцемента и бетонов успешно решается, то вопрос утилизации золошлаковых отходов ТЭС требует своего разрешения.

Учитывая пестроту химического и минералогического составов минеральной части углей, а, следовательно, и золошлаковых отходов, как на различных угольных месторождениях, так и в пределах одного месторождения, разработка универсальных рекомендаций по использованию золошлаковых отходов невозможна. Гранулометрический состав золошлаковых отходов также весьма неоднороден. Тем не менее в каждом конкретном случае можно воспользоваться общими рекомендациями по использованию того либо иного вида золошлаковых отходов ТЭС (золы-уносы, зольный шлам, шлаки, золошлаковые смеси) для производства самой широкой номенклатуры строительных материалов.

1 Общие положения

Золошлаковые отходы в зависимости от схемы очистки отходящих газов котлоагрегатов ТЭС могут быть представлены золами-уносами, зольным шламом, шлаками, золошлаковыми смесями.

Наиболее предпочтительна сухая схема очистки отходящих газов от пыли. В этом случае отходы представляют собой золы-уносы, как правило высокой степени дисперсности. Складирование и использование зол-уносов не вызывает особых проблем, поэтому они находят широкое применение в технологии ячеистых бетонов в качестве наполнителя, при производстве портландцемента в качестве активной минеральной добавки. То же касается и шлаков, образующихся на поде котлоагрегатов, и удаляемых по сухой схеме в виде пористого материала либо по мокрой в виде плотного граншлака.

Мокрая схема пылеулавливания менее затратна и более проста, чем сухая, но работать с зольным шламом, а впоследствии с золой из отвала, имеющей высокую влажность и зависающую в бункерах, а зимой смерзающуюся и с трудом поддающейся переработке, крайне затруднительно. Тем не менее даже такую золу можно использовать в производстве бетона, поскольку сухая схема пылеулавливания используется редко и золы-уносы полностью используются либо при производстве портландцемента, либо в технологии ячеистых бетонов. Преобладает же мокрая схема пылеулавливания и в отвалах скопились уже порядка 2 млрд. т отходов. Ежегодно образуется еще около 9 млн. т золошлаковых смесей.

Наиболее простой и достаточно надежной схемой утилизации золошлаковых отходов различного фракционного состава является технология бетона. Использование дисперсных зол в составе бетона позволяет сократить расход цемента, и в ряде случаев достаточно существенно, так как гидроксид кальция, выделяющийся при гидратации клинкерных минералов, активирует минералы золы, тем самым повышая её

гидравлическую активность. Бетон с добавкой золы характеризуется пониженной прочностью в ранние сроки твердения, т.к. в смешанном вяжущем (цемент+зола) понижено содержание клинкерной составляющей, но в более поздние сроки твердения прочность бетона с добавкой золы может превзойти прочность бетона без добавки золы. И бетон отличается повышенной плотностью в сравнении с бездобавочным бетоном, поэтому такой бетон рекомендуется использовать для возведения гидротехнических сооружений.

Однако наиболее применимой является совместная схема удаления золы и шлака, улавливаемых по мокрой схеме пылеулавливания. В этом случае зола и шлак в виде золошлаковой пульпы направляются в отвал и уже оттуда отбираются с помощью экскаватора и автотранспортом направляются на бетонные установки.

Следует отметить, что золошлаковые смеси, отбираемые с золоотвала, отличаются весьма неоднородным гранулометрическим составом – соотношение золы и шлака в них колеблется в широких пределах. Тонкодисперсная фракция золы в составе бетона, совместно с портландцементом, выполняет функцию смешанного золоцементного вяжущего, а частицы грубозернистой золы и шлака – мелко- и крупнозернистого заполнителя. Поэтому использование в составе бетонной смеси золошлаковых смесей позволяет снизить расход как цемента, так и песка и щебня при производстве бетона.

2 Расчет состава бетона с использованием золошлаковой смеси для частичной замены песка и природного щебня

Приводимая методика расчета состава бетона применима при использовании золошлаковой смеси с содержанием пылевидной золы не более 35 %.

В основу расчета заложена замена части природных песка и щебня золошлаковыми отходами, содержащими как песчаную, так и щебеночную

фракции. При расчете учитывается фактическая гранулометрия используемых компонентов.

Замену природного щебня осуществляют в пределах от 20 % до 50 %, а количество заменяемого песка определяется расчетом. Рекомендуется заменять природный щебень шлаковым в следующих количественных диапазонах, в %: 40-50, 30-40 и 10-20. При этом содержание щебеночной фракции (зерен крупнее 3 мм) в золошлаковой смеси должно составлять, в %, соответственно: свыше 50, 40-50 и не более 40.

В качестве шлакового щебня принимают зерна золошлаковой смеси крупнее 3 мм, можно принимать остаток на сите 2,5 мм.

Расчет состава бетона проводят в следующей последовательности.

1. Количество шлакового щебня вводимого с целью замены части природного

$$\text{ШЩ} = \frac{\text{Щ} * l * \rho_0^{\text{ШЩ}}}{\rho_0^{\text{Щ}}}, \text{ кг} \quad (1)$$

где ШЩ – количество шлакового щебня, кг;

Щ – количество природного щебня в составе исходного бетона, кг;

l - доля природного щебня (по массе), заменяемого шлаковым, в долях единицы;

$\rho_0^{\text{ШЩ}}$ - средняя плотность шлакового щебня, г/см³;

$\rho_0^{\text{Щ}}$ - средняя плотность природного щебня, г/см³.

2. Общее количество золошлаковой смеси, вводимой в бетонную смесь с учетом содержащейся в ней пылевидной и песчаной фракции

$$\text{ЗШС}_p = \frac{100 * \text{ШЩ}}{N_{\text{шщ}}}, \text{ кг} \quad (2)$$

где ЗШС_p - расчетное количество золошлаковой смеси, кг;

ШЩ - количество шлакового щебня, кг;

$N_{\text{шщ}}$ - содержание шлакового щебня, в %, в золошлаковой смеси, численно равное полному остатку на сите 2,5 мм.

3. Абсолютный объем золошлаковой смеси

$$V_{\text{зшср}} = \frac{V_{\text{зшср}}}{\rho_0^{\text{зшс}}}, \quad (3)$$

где $\rho_0^{\text{зшс}}$ - средняя плотность золошлаковой смеси, г/см³.

Средняя плотность золошлаковой смеси рассчитывается по формуле

$$\rho_0^{\text{зшс}} = [N_{\text{шщ}} * \rho_0^{\text{шщ}} + A_{0,16} - N_{\text{шщ}} \rho_0^{\text{шп}} + a_{\text{п}} * \rho^{\text{зу}}]/100, \quad (4)$$

где $A_{0,16}$ - полный остаток на сите 0,16 мм золошлаковой смеси, % по массе, характеризующий суммарное содержание в ней песчаной и щебеночной фракций;

$\rho_0^{\text{шп}}$ - средняя плотность зерен шлакового песка, г/см³;

$a_{\text{п}}$ - содержание пылевидной фракции в золошлаковой смеси, % по массе;

$\rho^{\text{зу}}$ - средняя плотность частиц золы, г/см³.

4. Проверяется выполнение условия

$$V_{\text{зшср}} < \frac{W * l}{\rho_0^{\text{ш}}} + \frac{П}{\rho_0^{\text{п}}}, \quad (5)$$

где W - расход щебня на 1 м³ бетона исходного состава, кг;

$П$ - расход песка на 1 м³ бетона исходного состава, кг;

$\rho_0^{\text{п}}$ - средняя плотность природного песка, г/см³.

$\rho_0^{\text{ш}}$ - средняя плотность природного щебня, г/см³.

5. Если это условие выполняется, то определяют количество

кварцевого песка. остающегося в исходном составе бетонной смеси после его частичной замены шлаковым песком и золой по формулам (6), (7) и (8).

$$ЗУ = \frac{ЗШС_p * a_{п}}{100}, \quad (6)$$

где ЗУ – количество золы, в кг, введенной вместе с золошлаковой смесью;

ЗШС_р – расчетное количество золошлаковой смеси, кг;

a_п – содержание пылевидной золы в золошлаковой смеси, % по массе.

Количество шлакового щебня, в кг, вводимого в бетон в составе золошлаковой смеси

$$ШЩ = ЗШС_p - ШП - ЗУ \quad (7)$$

где ЗШС_р - расчетное количество золошлаковой смеси, кг;

ШП – количество шлакового песка, введенного вместе с золошлаковой смесью кг;

ЗУ – количество золы, введенной вместе с золошлаковой смесью, кг

Количество шлакового песка, исходя из результатов предварительного определения гранулометрического состава золошлаковой смеси, рассчитывается по формуле

$$ШП = ЗШС_p \frac{A_{0,16} - A_{2,5}}{100}, \quad (8)$$

где A_{0,16} - полный остаток, в %, на сите 0,16;

A_{2,5} - полный остаток, в %, на сите 2,5

Количество кварцевого песка

$$P_p = \frac{P}{\rho_0^p} - \frac{ШТ}{\rho_0^{шт}} - \frac{ЗУ}{\rho_0^{зу}} * \rho_0^p, \quad (9)$$

где P – расход песка на 1 м^3 бетонной смеси исходного состава, кг;

$ШТ$ и $ЗУ$ – расход топливного шлака и золы-уноса в расчетном составе, кг;

ρ_0^p , $\rho_0^{шт}$ и $\rho_0^{зу}$ – средние плотности природного песка, шлака топливного и золы-уноса соответственно, г/см^3 .

Если содержание кварцевого песка, в кг, остающегося в бетонной смеси после его замены шлаковым, окажется менее 100 кг, то его расход на 1 м^3 бетонной смеси принимают равным 100 кг.

6. При замене природного щебня шлаковым расход цемента уменьшается на величину от 6 % до 10 % в сравнении с исходным составом, при этом водоцементное отношение ВЦ оставляют неизменным.

Расход цемента и воды находят, ориентируясь на данные, приведенные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Увеличение расхода воды по сравнению с исходным составом (ориентировочно)

Содержание золы в бетоне	Увеличение расхода воды на 1 м^3 бетона, л, при нормальной густоте зольного теста, в %	
	До 32	Более 32
$ЗУ \leq 0,2Ц$	$\Delta B = 0$	$\Delta B = 0,05B$
$ЗУ > 0,2Ц$	$\Delta B = \frac{ЗУ - 0,2Ц}{8}$	$\Delta B = 0,05B + \frac{ЗУ - 0,2Ц}{5}$

Таблица 2 - Снижение расхода цемента по сравнению с исходным составом (ориентировочно)

Содержание золы в бетоне	Снижение расхода цемента на 1 м ³ бетона, в %, при нормальной густоте зольного теста, в %	
	До 32	Более 32
ЗУ ≤ 0,2Ц	8-12	6-10
ЗУ > 0,2Ц	12-20	10-12

7. Расход природного щебня рассчитывают по формуле

$$\text{Щ}_p = 970 - \left(\frac{\text{Ц}_p}{\rho_0^{\text{ц}}} + \frac{\text{ЗШС}_p}{\rho_0^{\text{зшс}}} + \frac{\text{П}_p}{\rho_0^{\text{п}}} + \frac{\text{В}_p}{\rho_0^{\text{в}}} \right) * \rho_0^{\text{щ}}, \quad (10)$$

где Ц_p , ЗШС_p , П_p и В_p - расчетные расходы цемента, золошлаковой смеси, песка и воды соответственно;

$\rho_0^{\text{ц}}$, $\rho_0^{\text{зшс}}$, $\rho_0^{\text{п}}$ и $\rho_0^{\text{в}}$ - средние плотности цемента, золошлаковой смеси, песка и воды соответственно.

8. Если условие (5) не выполняется, то при дальнейших расчетах определяют:

- общее количество вводимой в бетон золошлаковой смеси

$$\text{ЗШС}' = \frac{\text{Щ} * l}{\rho_0^{\text{щ}}} + \frac{\text{П}}{\rho_0^{\text{п}}} * \rho_0^{\text{зшс}}, \quad (11)$$

где Щ и П - расход природных щебня и песка в исходном составе бетонной смеси, кг;

$\rho_0^{\text{щ}}$, $\rho_0^{\text{п}}$ и $\rho_0^{\text{зшс}}$ - средние плотности природных щебня, песка и золошлаковой смеси, г/см³, соответственно.

- абсолютный объем золошлаковой смеси

$$V_{\text{зшс}'} = \frac{\text{ЗШС}'}{\rho_0^{\text{зшс}}}, \quad (12)$$

При содержании золы в золошлаковой смеси более 15 % количество кварцевого песка в новом составе принимают равными нулю.

Содержание золошлаковой смеси в новом составе бетона будет равно вычисленному по формуле (11), т.е. $\text{ЗШС} = \text{ЗШС}'$.

Расход воды и цемента принимают по таблицам 1 и 2.

Расход щебня определяют по формуле (10).

При содержании золы в золошлаковой смеси менее 15 % расчет состава смеси производится в следующем порядке.

Определяют количество природного песка, которое необходимо добавить к золошлаковой смеси с целью улучшения гранулометрического состава заполнителя и обеспечения подвижности бетонной смеси.

$$P_{\text{уг}} = (0,213\text{ЗШС}' * A_{0,16}/100\rho_0^{\text{шт}} - \text{ЗШС}' * a_{\text{п}}/100\rho_0^{\text{зу}}) * \rho_0^{\text{п}}, \quad (13)$$

где 0,21 – усредненный эмпирический коэффициент, обозначающий долю природного песка, которая должна содержаться (для оптимизации зернового состава) в единице объема рыхло насыпанной смеси из небогатенного шлака ТЭС и природного песка;

$\rho_0^{\text{п}}$, $\rho_0^{\text{шт}}$ и $\rho_0^{\text{зу}}$ – средние плотности природного песка, шлака топливного и золы-уноса соответственно, г/см³;

$a_{\text{п}}$ – содержание пылевидной золы в золошлаковой смеси, % по массе.

Затем определяют среднюю плотность топливного шлака

$$\rho_0^{\text{шт}} = [N_{\text{шщ}} * \rho_0^{\text{шщ}} + A_{0,16} - N_{\text{шщ}} * \rho_0^{\text{шп}}]/A_{0,16}, \quad (14)$$

где $N_{\text{шщ}}$ - содержание шлакового щебня, в %, в золошлаковой смеси, численно равное полному остатку на сите 2,5 мм;

$A_{0,16}$ - полный остаток на сите 0,16 мм золошлаковой смеси, % по массе, характеризующий суммарное содержание в ней песчаной и щебеночной фракций;

$\rho_0^{\text{шт}}$, $\rho_0^{\text{шщ}}$ и $\rho_0^{\text{шп}}$ - средние плотности шлака топливного, шлакового щебня и шлакового песка соответственно, г/см³.

Рассчитывают абсолютный объем природного песка, который следует добавлять к топливному шлаку

$$V_{\text{пуг}} = \frac{P_{\text{уг}}}{\rho_0^{\text{п}}}, \quad (15)$$

Определяют количество золошлаковой смеси, вводимой в бетонную смесь

$$ЗШС_{\text{р}} = V_{\text{зшс}_{\text{р}}} - [V_{\text{зшс}'}/(V_{\text{зшс}'} + V_{\text{пуг}})] * \rho_0^{\text{зшс}}, \quad (16)$$

где $V_{\text{зшс}'}$ - уточненный абсолютный объем золошлаковой смеси;

Количество природного песка, оставшегося в исходном составе

$$P_{\text{р}} = [V_{\text{пуг}} * V_{\text{зшс}'}/(V_{\text{зшс}'} + V_{\text{пуг}})] * \rho_0^{\text{п}}, \quad (17)$$

При использовании топливного шлака расход цемента и воды уменьшают на 6-10 % в сравнении с исходным составом. При использовании золошлаковой смеси расходы цемента и воды назначают по таблицам 1 и 2. Расчетный расход щебня определяют по формуле (10).

3 Пример расчета

Рассчитать состав бетона марки 300 с использованием золошлаковой смеси для замены в исходном составе 40 % габродиабазового щебня ($l=0,4$).

Расход материалов на 1 м³ бетона, кг: цемент – 340; щебень – 1300; песок – 570; вода – 190.

Характеристика исходных материалов: $\rho_0^{\text{ц}} = 3,1 \text{ г/см}^3$; $\rho_0^{\text{ш}} = 2,9 \text{ г/см}^3$; $\rho_0^{\text{п}} = 2,6 \text{ г/см}^3$; $\rho_0^{\text{шщ}} = 2,4 \text{ г/см}^3$; $\rho_0^{\text{шп}} = 2,4 \text{ г/см}^3$; $\rho_0^{\text{зв}} = 2,14 \text{ г/см}^3$; $N_{\text{шщ}} = A_{2,5} = 48 \%$; $a_{\text{п}} = 20 \%$; $A_{0,16} = 75 \%$.

Решение

$$1. \text{ ШЩ} = \frac{\text{Ш} * l * \rho_0^{\text{шщ}}}{\rho_0^{\text{ш}}} = \frac{1300 * 0,4 * 2,4}{2,9} = 430 \text{ кг};$$

$$2. \text{ ЗШС}_p = \frac{100 * \text{ШЩ}}{N_{\text{шщ}}} = \frac{100 * 430}{48} = 896 \text{ кг};$$

$$3. \rho_0^{\text{зшс}} = [N_{\text{шщ}} * \rho_0^{\text{шщ}} + A_{0,16} - N_{\text{шщ}} \rho_0^{\text{шп}} + a_{\text{п}} * \rho^{\text{зв}}] / 100 = \\ \frac{48 * 2,4 + 75 - 48 * 2,4 + 20 * 2,14}{100} = 2,23 \text{ г/см}^3;$$

$$4. V_{\text{ЗШС}_p} = \frac{\text{ЗШС}_p}{\rho_0^{\text{зшс}}} = \frac{896}{2,23} = 402 \text{ кг};$$

$$5. \frac{\text{Ш} * l}{\rho_0^{\text{ш}}} + \frac{\text{П}}{\rho_0^{\text{п}}} = \frac{1300 * 0,4}{2,9} + \frac{570}{2,6} = 398 \text{ л};$$

6. Поскольку $402 > 398$, то принимаем меньшее значение.

$$7. \text{ ЗШС}' = \frac{\text{Ш} * l}{\rho_0^{\text{ш}}} + \frac{\text{П}}{\rho_0^{\text{п}}} * \rho_0^{\text{зшс}} = \frac{1300 * 0,4}{2,9} + \frac{570}{2,6} * 2,23 = 888 \text{ кг};$$

8. Поскольку $a_{\text{п}} = 20$, т. е. больше 15, то принимаем $P_p = 0$;

$$9. \text{ ЗШС}_p = \text{ЗШС}' = 888 \text{ кг};$$

$$10. \text{ ЗУ} = \frac{\text{ЗШС}_p * a_{\text{п}}}{100} = \frac{888 * 20}{100} = 177 \text{ кг};$$

11. Так как $\text{ЗУ} > 0,2\text{Ц}$ $177 > 68$ и нормальная густота зольного теста $\text{НГ}_{\text{зв}} < 32 \%$, то расход воды определяют по формуле

$$B_p = B + \frac{\text{ЗУ} - 0,2\text{Ц}}{8} = 190 + \frac{177 - 0,2 * 340}{8} = 204 \text{ л}$$

$$12. \quad C_p = C - C * 0,12 = 340 - 340 * 0,12 = 299 \text{ кг};$$

$$13. \quad \Pi_p = 970 - \left(\frac{C_p}{\rho_0^C} + \frac{3\Pi C_p}{\rho_0^{3\Pi C}} + \frac{\Pi_p}{\rho_0^\Pi} + \frac{B_p}{\rho_0^B} \right) * \rho_0^\Pi = 970 - \left(\frac{299}{3,1} + \frac{888}{2,23} + 0 + 204 \right) * 2,9 = 787 \text{ кг}$$

14. Расчетный расход материалов на 1 м³ бетона, кг: цемент – 299; щебень – 787; золошлаковая смесь – 888; вода – 204.

Список использованных источников

1 Турчанинов, В. И. Строительные материалы из техногенного сырья [Электронный ресурс] : учебное пособие/ В.И. Турчанинов// ОГУ, 2017. – 208 с.

2 Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1986. – 80 с.