

УДК 624.012.45

**ОТХОДЫ ГОК – ЭТО ПРОБЛЕМА ИЛИ НЕИСЧЕРПАЕМЫЙ ЗАПАС ЭФФЕКТИВНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ БЕТОНОВ?**

**ВІДХОДИ ГЗК – ЦЕ ПРОБЛЕМА ЧИ НЕВИЧЕРПНИЙ ЗАПАС ЕФЕКТИВНИХ ЗАПОВНІЮВАЧІВ ДЛЯ БЕТОНІВ?**

**IS MODC WASTE A PROBLEM OR AN INEXHAUSTIBLE RESERVE OF EFFECTIVE CONCRETE AGGREGATES?**

**Герб П.И., к.т.н.** (Криворожский национальный университет, г.Кривой Рог)

**Герб П.І., к.т.н.** (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг)

**Gerb P.I. D.Eng.** (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih),

**Приведены и проанализированы исследования бетонов и конструкций на заполнителях из отходов ГОК**

**Наведено і проаналізовано дослідження бетонів та конструкцій на заповнювачах із відходів ГЗК**

**Research data of concretes on the aggregates obtained from MODC wastes are shown and analyzed**

**Ключевые слова:**

Бетон, испытание, загрузка, отходы

Бетон, випробування, навантаження, відходи

Concrete, test, load, waste

**Состояние вопроса и задачи исследования.** Промышленное и сельскохозяйственное производство обуславливает накопление и концентрацию разнообразных отходов, которые в Украине составляют около 200 млн. т/год и в будущем их количество будет увеличиваться. Из общего объема добываемой горной массы на Украине в виде товарного сырья используется не более 38% остальное идет в отвалы. В целом по республике промышленными отходами занято около 150 тыс.га и ежегодно для этих целей отчуждается до 5 тыс. га.

Большое количество их накопилось в результате деятельности мощных горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий. В отвалах и шламохранилищах крупных комбинатов по добыче железных руд, флюсов и других полезных ископаемых скопилось более 350 млн.м<sup>3</sup> минеральных

отходов.

Основную базу предприятий черной металлургии Украины представляют железистые кварциты Кривбасса. В среднем на горно-обогатительном комбинате Кривого Рога ежегодно сбрасывается в отвалы 15-20 млн.м<sup>3</sup> безрудных кварцитов. Отходы обогащения железных руд превысили 1,5 млрд.т с ежегодным накоплением 60-80 млн.т.

Это представляет серьезную опасность для экологии обширных районов Украины и особенно Кривбасса, проблемы их использования требуют безотлагательного решения.

В последние годы наметилась четкая тенденция к удовлетворению запросов промышленности стройматериалами за счет местного сырья, в первую очередь, - отходов промышленности.

Кривбасс - один из наиболее развитых горнорудных центров, в котором накапливается огромное количество отходов обогатительных фабрик. Степень их использования минимальная: лишь частично применяются хвосты обогащения в качестве мелкого заполнителя для бетона, а железистые кварциты, другие скальные породы и шлаки - на отсыпку дорог.

**Анализ исследований и публикаций.** Много ученых занимались в направлении исследования и использования кварцево-железистого сырья – отхода горно-обогатительных комбинатов, так в трудах Бондаренко Г.Н. изложены проведенные испытания над этим материалом и над бетонами изготовленными на его основе. Сизов В.П. подробно изложил проектирование состава таких бетонов. Шевченко Б.Н., Валовой А.И., Стаханов И.П. представили доклад на X Международном конгрессе ФИП Дели, 1986г. о предварительно напряженных конструкциях из бетонов на мелких заполнителях - отходах обогащения железных руд. Валовой А.И. исследовал и описал влияние кратковременных переменных нагрузок на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных элементов из этих бетонов. Барашиков А.Я., Шевченко Б.Н., Валовой А.И. опубликовали ряд статей на тему малоциклового усталость бетона при сжатии. Стороженко Г.Т. защитил диссертацию по теме «Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов из бетонов на местных материалах Кривбасса».

**Постановка задания.** Предлагаемая вниманию читателей работа содержит результаты последних исследований в указанном направлении. Ее задача - проинформировать о проводимых исследованиях, необходимости использования уникального по составу и свойствам минерального сырья Кривбасса с целью более широкого вовлечения его в народное хозяйство.

#### **Изложение материала и результатов.**

Экономное расходование естественных сырьевых ресурсов требует новых методов их переработки, внедрения безотходных технологий и

комплексного использования всех выбросов производства. При современном техническом уровне промышленности можно полностью переработать все попутные минеральные продукты и отходы производства, около 85% которых могут быть использованы в строительстве. Отходы обогащенных железных руд занимают первое место среди отходов горнодобывающей промышленности и их объем с увеличением добычи полезных ископаемых будет возрастать.

На всех горно-обогатительных комбинатах способы обогащения железных руд принципиально одинаковы. При помощи магнитной сепарации из последовательно измельчаемой железной руды удаляется порода, оставляя максимальный процент железа. При обогащении железистых кварцитов методом мокрой магнитной сепарации Выделяется большое количество мелкодисперсных отходов. Они представляют собой взвесь твердых частиц в воде и подразделяются на отходы текущего выхода, которые после обогащения руды не выброшены в отстойники, и хвосты, направляемые гидротранспортом в хранилища, где происходит осаждения твердых частиц.

На Криворожье добыча и обогащение полезных руд осуществляется пятью горно-обогатительными комбинатами (Южным, Новокриворожским, Северным, Центральным и Ингулецким). Отходы текущего выхода на всех ГОКах содержат, в основном, одинаковое количество зерен крупностью 0,14 - 5 мм за счет одинакового технологического процесса. Гранулометрический состав хвостов мокрой магнитной сепарации изменяется в широких пределах.

Отходы из шламохранилищ более крупнозернисты за счет того, что в процессе накопления мелкие и глинистые частицы водой выносятся из отстойника, а крупные - оседают в прибрежной части хранилища. Средняя плотность хвостов из шламохранилищ колеблется в пределах 1400-1750 кг/м<sup>3</sup>.

Петрографическое изучение показало, что отходы ГОКов представлены, в основном, кварцем, бедными сростками кварца с гематитом, магнетитом и сидеритом с включением в отдельных случаях свободных зерен магнетита, гематита и сростков рудных материалов. По химическому составу эти отходы сложные и неодинаковые для различных горно-обогатительных комбинатов.

Отходы ГОКов текущего выхода характеризуются относительным постоянством содержания кремнезема (от 58 до 65%) и железа общего (от 11 до 18%).

Для более эффективного использования шламов обогащения железной руды их фракционируют. Необходимость фракционирования особенно ощущается при использовании шламов в качестве мелкого заполнителя бетонов ответственных конструкций, где требуется высокая марка бетона и исключается перерасход цемента. Можно фракционировать как пески после первой стадии обогащения, так и хвосты на шламохранилищах. По

первой методике работает установка на Ингулецком ГОКе. Выделение крупной фракции отходов достигают на специальной установке за счет применения сепараторов ПБМ-90/250, магнитных, дешламаторов МД-5, гидроциклонов диаметром 360 мм и ленточных вакуумфильтров Л-4.

Из-за принудительного отделения крупнозернистой фракции от пульпы и обезвоживания кварцево-железистый песок по химическому, гранулометрическому составу и физическим свойствам характеризуется относительным постоянством. Он соответствует техническим, требованиям РСН 201-84 и может быть применен в строительных растворах и бетонах. Технологическая схема обогащения отходов из шламохранилищ учитывает применение оборудования, серийно выпускаемые промышленностью.

Свойства бетонов на заполнителях из кварцево-железистого песка - отходах ГОКов - исследовались на строительном факультете КНУ и Днепропетровском филиале НИИСП. Изучение технологических особенностей обогащенных отходов показало влияние их качества на свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона. Основными критериями, характеризующими свойства классифицированных отходов, являлись cemento- и водопотребность.

С увеличением крупности кварцево-железистого песка водопотребность его уменьшается. Расход цемента на единицу прочности бетона на обогащенных отходах меньше, чем на естественном кварцевом песке аналогичного состава.

Свойства бетона на отходах исследовались как при термовлажной обработке, так и при твердении в естественных условиях. В первом случае удельный расход цемента на обогащенных отходах составляет 85-95% от удельного расхода цемента в бетоне на естественном песке; после тепловой обработки - 74-93%. Установлено, что применение классифицированных отходов позволяет экономить 50-100 кг цемента на 1м<sup>3</sup> бетона по сравнению с применением мелкозернистых природных песков.

В результате исследований подобраны составы бетонов, которые выполняются общепринятым способом. Связь между активностью цемента, плотностью цементного камня и прочностью бетона удовлетворительно описывается зависимостью вида

$$R = AR_c \left( \frac{Ц}{B} - a \right), \quad (1)$$

Где R - кубиковая прочность бетона в 28-суточном возрасте; R<sub>ц</sub> - активность цемента; Ц и В - расходы цемента и воды на- 1м<sup>3</sup> бетонной смеси; А и а - эмпирические коэффициенты. Для описываемых бетонов рекомендуются коэффициенты А=0,62 ; а=0,5.

Величина начального модуля упругости бетона может быть определена по эмпирической формуле:

$$E_g(\tau) = \frac{E_m R(\tau)}{S + R(\tau)}, \quad (2)$$

Где  $E_g(\tau)$  - модуль упругости бетона при загрузении его в произвольном возрасте  $\tau$ ;  $R(\tau)$  - кубиковая прочность бетона в том же возрасте;  $E_m$  и  $S$  - эмпирические константы. Для бетонов на мелких отходах ГОК рекомендуется принимать  $E_m = 6 \cdot 10^4$ ,  $S = 27$

На строительном факультете КНУ проводились широкие исследования свойств бетонов на обогащенных отходах. Определялись их прочность, сцепление арматуры с бетоном, деформативные свойства при малоцикловом действии нагрузки. Исследования на кварцево-железистом песке проводились в сопоставлений с аналогичными образцами из тяжелых бетонов на традиционных мелких заполнителях - кварцевых песках.

Бетон на отходах интенсивно набирает прочность до 14 суток, после 28-суточного возраста рост прочности практически прекращается. В семисуточном возрасте кубиковая прочность выше на 62%, призмная - на 34%, а при центральном растяжении - на 30%, чем у обычного. Повышенная прочность бетона на отходах обогащения объясняется несколько большей, по сравнению с песком, шероховатостью зерен, механической прочностью и дополнительными цементирующими соединениями, вызванными присутствием железа в отходах.

Сопротивление растяжению батона на заполнителе из отходов ГОК на 30% больше, чему бетона на заполнителе из песка. Кроме того, бетон на отходах имеет лучшее (в среднем 15-20%) сцепление с арматурой. [1,2]

Бетонные и железобетонные конструкции промышленных зданий и сооружения предприятий черной металлургии, как правило, работают, в сложных условиях эксплуатации - при повышенных уровнях напряжений, непрерывно изменяющихся по интенсивности, знаку и направлению. Изменение нагрузок в процессе эксплуатации сооружений может привести к результатам, качественно отличным от тех, которые получаются при расчете на постоянные нагрузки максимальной интенсивности. Поэтому было всесторонне исследовано поведение бетона на отходах при сложных, нестандартных режимах нагружения.

По итогам анализа исследований основных физико-механических характеристик бетонов на мелких отходах ГОК, можно отметить, что в отношении прочностных и деформативных свойств, указанные бетоны не уступают, а по некоторым параметрам и превосходят традиционные бетоны на кварцевом песке.

На строительном факультете КНУ проводились всесторонние исследования работы железобетонных конструкций и их усиленных образцов с учетом сношености конструкций из бетонов на отходах ГОК как при кратковременном, так и длительном действии нагрузок. Подробно

рассматривалась работа железобетонных балок, стоек, плит и ферм.

В первой большой серии испытаний, исследованы железобетонные балки и стойки из бетона класса В 20 на мелком заполнителе из отходов ГОК. Установлено, что несущая способность таких конструкций на 10-12% выше расчетной несущей способности железобетонных элементов.

Разрушающий изгибающий момент для балок с мелким заполнителем из отходов ГОК на 15,3% выше, чем для балок из бетона на кварцевом песке.

Момент образования трещин в балках из бетона на отходах ГОК оказался в среднем на 20% выше, чем в балках из бетона на кварцевом песке. Ширина раскрытия трещин в элементах из бетона на отходах ГОК при  $M=0,6M_{н}$  на 27% меньше, чем для бетонов на кварцевом песке. Улучшение свойств трещиностойкости бетона на отходах объясняется повышенным сцеплением арматуры с бетоном. Прогобы балок из бетонов на отходах ГОК в среднем на 20% меньше, чем в балках из бетона на кварцевом песке. [1,3]

Получена повышенная прочность стоек на отходах ГОК в среднем на 7% по сравнению со стойками из бетона на кварцевом песке. Прогобы стоек из бетона на отходах ГОК оказались на 13% меньше, чем в аналогичных элементах из бетона на кварцевом песке.

Длительные исследования предварительно напряженных железобетонных элементов выявили особенности деформирования конструкции из бетонов на отходах ГОК в сравнении с аналогичными конструкциями из бетонов на кварцевом песке. Экспериментальные значения (в возрасте 480 суток) потерь предварительного напряжения в арматуре от усадки исследуемого бетона почти на 20% меньше, чем в предварительно напряженных балках из бетона на кварцевом песке. Потери предварительного напряжения в арматуре от ползучести бетона для балок и стоек, изготовленных из бетона на отходах ГОК, соответственно на 18,2 и 21,5% меньше, чем в таких же элементах из бетона на кварцевом песке.

Для теоретического определения несущей способности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых и внецентренно сжатых элементов на первом этапе была с успехом использована методика расчета, рекомендуемая действующими нормами. Для каждого конкретного случая расчета разработана система корректирующих коэффициентов, учитывающих свойства описываемого бетона и вид напряженного состояния конструкции. Уточнение методики расчета конструкций из бетонов на отходах ГОК продолжается.

С целью внедрения в производство результатов, полученных в КНУ, были проведены экспериментальные исследования типовых железобетонных конструкций на монотонное статическое нагружение в соответствии с требованиями ГОСТ. Было испытано 8 видов натуральных конструкций из бетона на отходах ГОК. Для сравнения параллельно испытывались конструкции из бетонов на кварцевом песке. Опытные

конструкции изготавливались на производствах ЗАО "Криворожиндустрой".

В результате испытаний были сделаны следующие выводы:

1. Предварительно напряженные и обычные железобетонные конструкции с использованием в качестве мелких заполнителей отходов ГОК можно получать в заводских условиях, не меняя технологического процесса изготовления. При этом не требуется дополнительных затрат рабочего времени и капитальных вложений.

2. Расчетные показатели плит из бетона на отходах ГОК (серии ПТК-58-12 и ПК-8-63-12) превышают соответствующие характеристики конструкций из бетонов на кварцевом песке по прочности на 20-28%, жесткости - на 40-45%, деформативности - на 37-40% и 33-34%.

3. Серийные несущие конструкции (плиты, фермы, ригели, подкрановые и фундаментные балки и др.) из бетона на отходах ГОК удовлетворяют требованиям ГОСТ 8829-66 и соответствующих рабочих чертежей по прочности, жесткости и трещиностойкости и могут с успехом применяться в любых зданиях и сооружениях.

Для определения пригодности железобетонных конструкций при работе их в сложных условиях предприятий черной металлургии исследовались также и предварительно напряженные железобетонные изгибаемые элементы на мелких заполнителях из отходов обогащения железных руд при действии повторных статических нагрузок. Рассмотрено влияние многократно повторяемых нагрузок с максимальным уровнем нагрузки  $\eta = 0,38 - 0,85$  от разрушающей с полной и частичной разгрузкой на прочность, деформативность и трещинообразование изгибаемых железобетонных элементов из бетонов на отходах ГОК. В результате проведенных исследований разработаны методы расчета изгибаемых железобетонных конструкций, эксплуатирующихся при действии переменных статических нагрузок. Они позволяют определять прочность, усилие трещинообразования, ширину раскрытия и условия закрытия нормальных трещин, жесткость и деформативность нормальных сечений.

Опыты показали, что при среднем (эксплуатационном) уровне нагрузки  $M = (0,6 \dots 0,7)M_{н}$  характер изменения нагрузки оказывает наиболее существенное влияние на изменение прогибов (жесткостей), образование, раскрытие и закрытие трещин. В то же время история нагружения практически не отражается на несущей способности конструкций. При расчете изгибаемых железобетонных элементов на действие статических повторных нагрузок по I и II группам предельных состояний, в первом приближении в основу могут быть положены рекомендации действующих норм. Однако при этом должны быть учтены изменения основных физико-механических характеристик бетона в зависимости от режима нагрузки.

При проектировании конструкций следует учитывать условия эксплуатации, особенно возможность появления повторных нагрузок, так

как во многих случаях они могут привести к потере эксплуатационных качеств, а иногда и к разрушению. Применение железобетонных конструкций из бетонов на отходах ГОК при сложных переменных эксплуатационных воздействиях показало их высокую эффективность и надежность. Производственные испытания подтвердили достоверность предлагаемых методов расчета.

**Выводы.** Экономическая эффективность комплексного использования природных ресурсов может проявляться по четырем направлениям. Во-первых, экономятся капитальные вложения и снижаются издержки производства в отраслях, реализующих попутные продукты и отходы, а также производящих строительные материалы и изделия. Во-вторых, повышается уровень обеспеченности народного хозяйства сырьевыми ресурсами, вследствие наполнения их баланса за счет попутно добываемых и дополнительно используемых компонентов основного природного ресурса. В-третьих, повышается общественная производительность труда. В-четвертых, увеличивается объем производства продукции, улучшается ее качество и рентабельность производства.

При оценке экономических преимуществ использования кварцево-железистых песков в производстве строительных материалов в расчетах необходимо учитывать расходы: на удаление и складирование пульпы в отвалы; электроэнергию и воду; на текущий ремонт; заработную плату стационарного персонала; капитальные вложения на строительство новых и расширение существующих шламохранилищ, а также амортизационные отчисления.

Использование отходов в качестве заполнителей для бетонов дает возможность снизить реальную стоимость железобетонных конструкций без существенных изменений технологии работ.

Применение бетонов на отходах ГОК открывает пути к широкому внедрению более экономичных конструкций, позволяющих получить не только технико-экономический, но и социальный эффект.

**1.** Шевченко Б.Н. Исследование прочности и деформативности предварительно напряженных железобетонных элементов, изготовленных из бетонов на мелких заполнителях – отходах горно-обогажительных комбинатов: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / Б.Н. Шевченко. – Киев, 1980. – 20 с. **2.** Герб П.И. Экспериментальные исследования прочности и деформативности железобетонных балок, усиленных наращиванием в растянутой зоне бетоном, из отходов обогащения железных руд / А.И. Валовой, П.И. Герб // Дороги і мости : зб. наук. пр. – Вип. 11. – Київ, 2009. – С. 44–49. **3.** Железобетонные конструкции из бетона на отходах горнорудной и металлургической промышленности / [Стороженко Л.И., Шевченко Б.Н., Ильенко В.М. и др.]. – Киев: Будівельник, 1982, – 72 с. **4.** Валовой А.И. Влияние кратковременных переменных нагрузок на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных элементов из бетоном на отходах обогащения железных руд. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Киев: КИСИ, 1980. – 20 с.