

УДК 625.8:625.84.08.006.3:691.32

РЕЦИКЛИНГ ОСТАТКОВ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ЦБЗ

Канд. техн. наук, профессор **В.В. Силкин**,
д-р техн. наук, профессор **А.П. Лупанов**,
канд. техн. наук, доцент **В.В. Рудакова**,
канд. техн. наук, доцент **С.М. Дмитриев**,
магистрант **В.А. Максимов**

(Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ))
Конт. информация: maksimov.vadim.007@yandex.ru

Важным решением для ресурсосбережения и экологических проблем, возникающих при производстве бетонных смесей на цементобетонных заводах (ЦБЗ), является рециклинг остатков бетонной смеси – процесс возврата их переработки в технологический процесс. Выполнен анализ, касающийся рециклинга остатков бетонной смеси с целью подбора эффективного оборудования в состав ЦБЗ для снижения себестоимости приготовления бетонных смесей и выполнения требований экологического законодательства.

Ключевые слова: бетонная смесь, песок, щебень, рециклинг, установка для рециклинга, ресурсосбережение, экономическая эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

В распоряжении Правительства Российской Федерации от 10 мая 2016 г. № 868-Р о «Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» указано, что к 2030 году доля ввода в эксплуатацию дорог с цементобетонным покрытием в общем объеме строительства должна составлять до 50 % [1].

Значительное увеличение объемов строительства автомобильных дорог с цементобетонным покрытием потребует увеличения капитальных вложений. Одним из мероприятий по снижению затрат может быть повторное использование остатков бетонных смесей, которые образуются от очистки бетоносмесительных установок, автобетоносмесителей и бетононасосов.

Возможность применения заполнителей вторичного использования (рециклинга) предусмотрена в ГОСТ Р 59300-2021 [2].

Рециклинг отходов бетонных смесей способствует не только улучшению экологической обстановки на цементобетонном заводе (ЦБЗ), но и позволяет обеспечить экономию материальных средств. Из отходов бетонных смесей вымывается песок и щебень, которые при определенных условиях могут вторично использоваться в производстве. Оставшееся цементное молочко помещают в специальные бассейны и при помощи системы перемешивания поддерживают во взвешенном состоянии. Затем взвесь в необходимых пропорциях вместе с водой повторно используется для производства бетонной смеси [3, 4]. При этом вода затворения должна соответствовать ГОСТ 23732-2011.

Установки для рециклинга бетонной смеси на ЦБЗ

Ведущие компании мира BIBKO, LIEBHERR (Германия), OCMER (Италия), ELKON (Турция), TECWILL (Финляндия), NFLG (Китай) и ряд других предлагают комплектовать производимые ими ЦБЗ комплексами для рециклинга остатков бетонных смесей. Оборудование комплексов обеспечивает разделение бетона на твердые составляющие и воду, позволяя повторно использовать твердые остатки бетонной смеси и воды.

В России установки для рециклинга остатков бетонной смеси выпускают компании ТЕНЗОТЕХСЕРВИС, завод СТРОЙМАШ и др.

Компанией BIBKO (Германия) выпускаются установки производительностью 10, 20 и 30 м³/ч.

Установка компании BIBKO модель Comtec состоит из следующих основных блоков (рис. 1):

- промывочной машины (тип Comtec);
- выгрузочного устройства с возможностью регулировки по высоте;
- приемной воронки размером (1500x1250 мм);
- промывочной трубы для автобетоносмесителя;
- насоса подачи воды для промывки автобетоносмесителя, включая подъемное устройство;
- насоса подачи воды из накопительного резервуара к бетоносмесительному узлу, включая подъемное устройство;
- ультразвукового датчика уровня воды в накопительном резервуаре;
- микропроцессорного управления с панелью индикации;
- оборудования для работы при низких температурах.



Рис. 1. Установка для переработки остатков бетона компании BIBKO (Германия)

Для полноценного использования частиц менее 0,2 мм и цементного молока целесообразно в резервуаре с использованной промывочной водой применение специального перемешивателя, предотвращающего оседание твердых частиц.

Компания LIEBHERR (Германия) предлагает установки для утилизации бетонных отходов в двух вариантах: в шнековом исполнении и барабанного типа.

Установки для утилизации отходов шнекового исполнения (тип LRS) выпускаются трех модификаций различной производительности (рис. 2). Они могут поставляться в мобильном исполнении. В конструкции установок предусмотрено особое расположение спирали в корпусе, обеспечивающее создание прослойки из материала, которая предотвращает механический износ корпуса шнека. Опорные подшипники шнека оборудованы центральной системой смазки. Специально разработанная форма приемной воронки обеспечивает подъезд одного или сразу двух автобетоносмесителей с любой стороны. За счет большой высоты выгрузки материалов из шнека возможно хранение большого количества песка и щебня. Максимальный размер частиц взвеси в «оборотной» воде может составлять 0,25 мм. Возможна поставка установки для работы при отрицательных температурах.

Установки с системой барабанного типа (LTR) выпускаются в трех модификациях производительностью от 4 до 20 м³/ч. Большой размер размывочного механизма установки обеспечивает промывку значительного количества материала за короткий промежуток времени. Так же, как у установки в шнековом исполнении, за счет особого расположения спирали в корпусе создается прослойка из материала, которая предотвращает механический износ барабана. Специальная форма приемной воронки обеспечивает промывку до двух миксеров. Максимальный размер частиц взвеси в «оборотной» воде составляет 0,25 мм.

Установки компании «LIEBHERR» могут комплектоваться дополнительными механизмами и оборудованием: приемным лотком, транспортером, грохотом для щебня и песка, гидроциклонным сепаратором, установкой для подготовки воды, прибором для измерения плотности воды.

Наличие оцинкованного приемного лотка большого размера (рис. 3) обеспечивает одновременную промывку до 6 автобетоносмесителей. Грохот для щебня и песка предназначен для дальнейшего разделения переработанного материала. Прибор для измерения плотности «оборотной» воды в баке позволяет оптимально подобрать соотношение чистой и «оборотной» воды. Установки гидроциклонного сепаратора за счет высокой центробежной силы обеспечивает отфильтровку из воды большей части тяжелых частиц, снижая содержание твердой фракции в воде. Установка для подготовки и очистки воды может быть использо-

вана в тех случаях, когда при производстве бетонной смеси исключается применение «оборотной» воды.

а)



б)

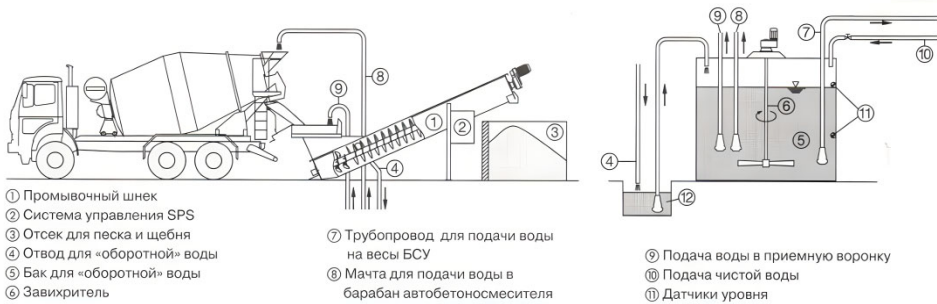


Рис. 2. Установка для утилизации бетонных отходов шнекового исполнения компании LIEBHERR (Германия):
 а) общий вид; б) технологическая схема утилизации



*Рис. 3. Приемный лоток в установках
компании LIEBHERR (Германия)*

Применяемая на установках система управления обеспечивает полную автоматизацию технологического процесса.

Компанией SBM (Австрия) поставляются установки для переработки остаточной бетонной смеси в стационарном исполнении для длительной эксплуатации и контейнерном исполнении для легкого и быстрого монтажа на месте использования производительностью 11 и 16 м³/ч. Технологическая схема переработки остатков бетонной смеси приведена на **рис. 4**.

В технологическом процессе переработки в установке остаточная бетонная смесь из автобетоносмесителей и бетононасосов снова разделяется на минеральные материалы и воду. Профильтрованная вода используется для промывки автобетоносмесителей и производства бетона.

При поставке установки в мобильном исполнении не требуется фундамента. В состав установки могут быть включены второй промывочный «гусак» для одновременного обслуживания двух автобетоносмесителей и разгрузочный ленточный конвейер для складирования отдельных материалов больших объемов.

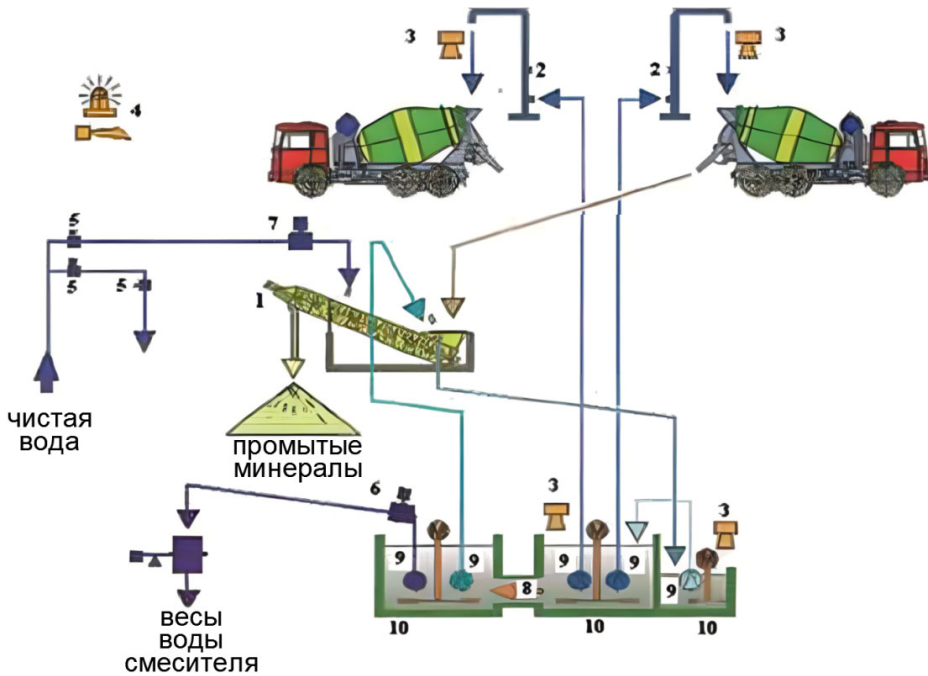


Рис. 4. Схема технологического процесса для переработки остатков бетонной смеси в установках компании SBM (Австрия):

1 – шнек; 2 – кнопка; 3 – датчик приближения; 4 – сигнальная лампа;
5 – кран; 6 – запорный кран; 7 – магнитный клапан;
8 – регулятор уровня; 9 – насос; 10 – смеситель

Компанией OCMER (Италия) предлагается для промывки автобетоносмесителей оборудование EcosalVenti (**рис. 5**). Промывка автобетоносмесителей производится через трубу подачи (10) чистой водой или цементной взвесью, подаваемой из ёмкости (6) посредством трубы и насоса (8).

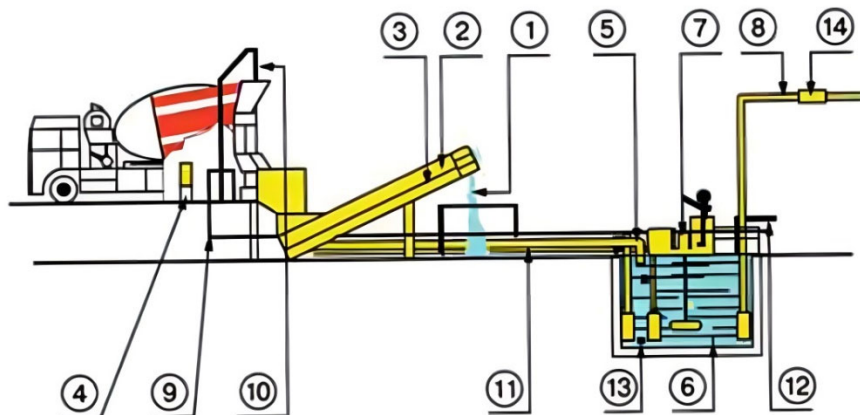


Рис. 5. Оборудование для промывки автобетоносмесителей EsocalVentí компании OCMER (Италия):

1 – отвал; 2 – шнек-разделитель; 3 – точка подачи воды в шнек-разделитель; 4 – панель управления; 5 – отводящая труба от шнека разделителя к ёмкости (6); 6 – ёмкость для получения цементной взвеси; 7 – смеситель с электродвигателем 4 кВт; 8 – труба и насос (расположены в ёмкости (6)) для перекачки цементной взвеси; 9 – труба и насос (расположены в ёмкости (6)) для промывки автобетоносмесителей; 10 – труба и насос (расположены в ёмкости (6)) для подачи чистой воды или цементной взвеси в автобетоносмеситель при промывке); 11 – труба и насос (расположены в ёмкости (6)) для подачи цементной взвеси из ёмкости в шнек-разделитель); 12 – труба для доливки чистой воды; 13 – предохранительный датчик; 14 – дозирующий узел для подачи цементной взвеси в бетоносмеситель ЦБЗ

После промывки автобетоносмесителя остаточная бетонная смесь выгружается в приемный бункер шнека-разделителя (2) производительностью 30 м³/ч. Шнек забирает остаточную бетонную смесь и продвигает ее сквозь встречный поток чистой воды. Щебеночно-песчаная смесь оседает на дне и забирается шнеком на выгрузку в отвал (1), а вода с частицами цемента, находящимися во взвешенном состоянии, уходит по отводной трубе (5) в ёмкость (6).

В емкости (6) установлен смеситель (7), поддерживающий данную субстанцию в стабильном состоянии, не позволяя оседать твердым частицам.

Полученная щебеночно-песчаная смесь (ЩПС) используется на ЦБЗ для производства смесей, при соответствующей корректировке состава.

Образовавшаяся цементная взвесь также используется для промывки автобетоносмесителей и производстве смесей.

В установке ERCYL-10 компании ELKON (рис. 6) выгрузка остаточной бетонной смеси производится в приемный бункер. Затем смесь подается по моечной системе, при этом ее очищение осуществляется встречным потоком воды. Легкие составляющие бетонной смеси вымываются водой, а более тяжелые частицы (ЩПС) оседают на дне бункера и при помощи шнека выгружаются в специально подготовленный отсек.

Вода с легкими частицами (цемента) перекачивается из верхней части бункера по отводной трубе в бассейн рециркулированной воды. В бассейне смонтирован активатор, поддерживающий смесь в постоянной консистенции, исключая оседание ее частиц.



Рис. 6. Установка ERCYL-10 компании ELKON (Турция)

ЩПС из специально подготовленного отсека подается погрузчиком в один из расходных бункеров бетоносмесительной установки, а цементная взвесь закачивается по мере необходимости в бетоносмеситель.

При работе в зимних условиях внутри установки могут быть размещены нагреватели, гарантирующие надежную работу при отрица-

тельных температурах. Основные параметры установки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры установки ERCYL-10

<i>Основные параметры</i>	<i>Значения параметров</i>
<i>Производительность, м³/ч</i>	10 (остатков бетонной смеси)
<i>Суммарная потребляемая мощность, кВт</i>	21,5
<i>Расход воды, м³/ч</i>	15
<i>Размер фракций (максимальный), мм</i>	25-30
<i>Температура эксплуатации, °С</i>	+5...+35
<i>Объем бассейна, м³</i>	22,5 (глубина – 3 м)
<i>Мощность привода шнека моечной системы, кВт</i>	7,5 (насос передаточный)

Установка по переработке отходов бетона Ecotec финской компании TECWILL (**рис. 7**) состоит из следующих компонентов:

- барабана для промывки и разделения инертных материалов;
- шнекового транспортера для выгрузки отделённых инертных материалов;
- приемного конуса;
- автоматизированной системы управления.

Возможно размещение установки Ecotec на заводах железобетонных изделий в производственном помещении.

Компанией TECWILL поставляются также и мобильные варианты установок по переработке отходов бетона. Для моделей Mobile необходим бассейн для рециклированной воды.

При отрицательных температурах предусмотрена перегрузка полученных инертных материалов в специальные бункеры с целью исключения их замерзания.



Рис. 7. Установка для переработки отходов бетона Ecotec компании TECWILL (Финляндия)

Вопросам переработки остатков бетонной смеси уделяется большое внимание и в Китае. Компанией NFLG разработана система рециклинга для переработки остаточного бетона из бетоносмесительной установки и автобетоносмесителя серии WCRE60 (рис. 8).

Комплекс сверхпрочной конструкции включает: приемный бункер, систему трубопроводов, моечную систему, бассейн рециркулированной воды, систему водоснабжения, погружной насос, смеситель для шламовой воды, систему выгрузки, блок управления с визуальной и акустической системой безопасности. Установка по всему периметру оснащена лестницами, поручнями, а также широкими площадками для сервисного обслуживания.

Применение комплекса системы рециклинга WCRE60 обеспечивает извлечение и разделение остаточной бетонной смеси на щебень и песок. В шламе остаются частицы размером менее 0,25 мм.

Установки серии WCRE60 оснащены автоматической системой управления, обеспечивающей полную автоматизацию процессов и легкость обслуживания.



Рис. 8. Комплекс системы рециклинга остаточного бетона серии WCRE60 компании NFLG (Китай)

Установки для рециклинга выпускает и российская компания «ТЕНЗОТЕХСЕРВИС». Производительность такой установки – 11 м³/ч. В состав оборудования входит регенератор ReBeton-10 (рис. 9).



Рис. 9. Регенератор бетонной смеси ReBeton-10 компании ТЕНЗОТЕХСЕРВИС (Россия)

Основные параметры оборудования ТЕНЗОТЕХСЕРВИС приведены в **табл. 2**.

Таблица 2

*Параметры оборудования линии рециклинга
компании ТЕНЗОТЕХСЕРВИС*

<i>Регенератор бетона</i>	
Производительность по разбавленной бетонной смеси, м ³ /ч	11
Габаритные размеры, мм	
▪ длина	5200
▪ высота	2500
▪ диаметр	1900
Номинальная мощность, кВт	7,5
Температура эксплуатации, °С	от -5 до +40
<i>Погружной насос для иловой воды</i>	
Производительность, м ³ /ч	91,8
Максимальный напор, м	24,9
Мощность двигателя, кВт	5,5
Масса, кг	132
<i>Дозатор иловой воды</i>	
Ёмкость дозатора, л	до 600
Погрешность дозирования, %	±1
Смеситель для иловой воды для резервуаров, м ³	до 75
Габаритные размеры для смесителя, мм	
▪ длина	4500
▪ ширина	1200
<i>Пылевлагозащитный моноблочный шкаф</i>	
Температура эксплуатации, °С	от -5 до +40
Степень защиты	IP54
Питание, В, Гц	380,50
Управление	местное

Технологические схемы линии рециклинга остатков бетонной смеси компании ТЕНЗОТЕХСЕРВИС приведены на **рис. 10**.



**Рис. 10. Технологические схемы линии рециклинга
ТЕНЗОТЕХСЕРВИС (Россия)**

По данным компании ТЕНЗОТЕХСЕРВИС (Россия), экономия от повторного применения заполнителей в составе бетонной смеси составляет до 2,4 %.

При годовом выпуске бетонных смесей 70 тыс. м³ экономический эффект за счет использования отечественного оборудования составит 1,5 млн руб. При стоимости отечественного оборудования порядка 2 млн руб., оно может окупиться в течение 1,5 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение технологии переработки остатков бетонных смесей является важным экологическим и экономическим решением. Данная технология широко используется за рубежом и начинает применяться в Российской Федерации.

Технологический процесс рециклинга независимо от производительности и типа оборудования включает разгрузку остатков бетонной смеси в приемный бункер, промывку потоком воды, выгрузку очищенных материалов в отвалы, отделение промывочной воды в ёмкость с перемешиванием, подачу минеральных материалов и остаточной воды в смеситель при соответствующей корректировке состава смеси.

Производительность установок рециклинга различного производства составляет от 10 до 60 м³/ч и выбирается в зависимости от мощности ЦБЗ.

Учитывая невозможность поставки в настоящих условиях европейского оборудования, наиболее оптимальный вариант для российских производителей – использование отечественных установок, стоимость, которых в 2 – 2,5 раза ниже зарубежных. В зависимости от объема выпуска срок окупаемости оборудования может составить 1,5 – 2 года. При этом решается проблема захоронения отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства от 10.05.2016 №868-р «Об утверждении Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: [https:// docs.cntd.ru/document/420353735](https://docs.cntd.ru/document/420353735) (дата обращения: 20.11.2021).
2. ГОСТ Р 59300-2021. Дороги общего пользования. Смеси бетонные для устройства слоев оснований и покрытий. Технические условия. – М.: ФГБУ «РСТ», 2021. – 16 с.
3. Ефименко А.З. Бетонные отходы – сырье для производства эффективных строительных материалов / А.З. Ефименко // Строительные материалы. – 2013. – № 7. – С. 12-18.
4. Лупанов А.П. Ресурсосберегающие технологии на производственных предприятиях дорожного хозяйства: монография / А.П. Лупанов, В.В. Силкин, В.В. Рудакова и др. – 2-е изд. испр. и доп. – М.: АСВ, 2020. – 286 с.

L I T E R A T U R A

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva ot 10.05.2016 №868-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya promyshlennosti stroitel'nyh materialov na period do 2020 goda i dal'nejshuyu perspektivu do 2030 goda» [Elektronnyj resurs] / Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. – Rezhim dostupa: [https:// docs.cntd.ru/document/420353735](https://docs.cntd.ru/document/420353735) (data obrashcheniya: 20.11.2021).
2. GOST R 59300-2021. Dorogi obshchego pol'zovaniya. Smesi betonnye dlya ustrojstva sloev osnovanij i pokrytij. Tekhnicheskie usloviya. – M.: FGBU «RST», 2021. – 16 s.

3. Efimenko A.Z. *Betonnye othody – syr'e dlya proizvodstva effektivnyh stroitel'nyh materialov* / A.Z. Efimenko // *Stroitel'nye materialy*. – 2013. – № 7. – S. 12-18.
4. Lupanov A.P. *Resursosberegayushchie tekhnologii na proizvodstvennyh predpriyatiyah dorozhnogo hozyajstva: monografiya* / A.P. Lupanov, V.V. Silkin, V.V. Rudakova i dr. – 2-e izd. ispr. i dop. – M.: ASV, 2020. – 286 s.

**RECYCLING OF CONCRETE MIX RESIDUES
AT CEMENT-CONCRETE PLANT**

*Ph. D. (Tech.), professor V.V. Silkin,
Doctor of Engineering, professor A.P. Lupanov,
Ph. D. (Tech.), associate professor V.V. Rudakova,
Ph.D. (Tech.), associate professor S.M. Dmitriev,
Master's student V.A. Maksimov
(Moscow Automobile and Road
State Technical University (MADI))*

Contact information: maksimov.vadim.007@yandex.ru

An important solution for resource saving and environmental problems that arise during the production of concrete mixtures at cement-concrete plants is the recycling of the concrete mixture residues – their re-treatment return into the technological process. The analysis on recycling the concrete mix residues to select the effective equipment for the cement concrete plant in order to reduce the costs of producing concrete mixes, as well as fulfill the requirements of environmental legislation is done.

Key words: *concrete mixture, sand, crushed stone, recycling, recycling plant, resource saving, economic efficiency.*

Рецензент: заместитель заведующего Испытательно-исследовательской лабораторией С.Г. Беспалов (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 03.02.2023 г.