

DOI 10.35264/1996-2274-2020-2-145-159

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ВТОРИЧНОГО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В.Д. Клюев, глав. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, д-р экон. наук, проф., действ. чл. Академии военных наук, kluev@extech.ru

Ю.А. Бирюков, докторант Военного инженерно-технического института Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева, канд. техн. наук, uabiryukov@mail.ru

В.В. Панаева, нач. упр., ФАУ РосдорНИИ, канд. экон. наук, vicvic913@yandex.ru

Рецензент: В.И. Курдюмов

В статье рассматривается проблема использования ресурсосберегающих технологий переработки отходов строительных материалов для обеспечения экологической безопасности и вторичного использования материалов при демонтаже (сносе) зданий. Даны обоснования в развитии и адаптации теории применения ресурсосберегающих технологий при организации демонтажа (сноса) зданий.

Ключевые слова: демонтаж (снос) зданий, ресурсосберегающие технологии, переработка отходов строительных материалов, вторичное использование материалов, экологическая безопасность.

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES FOR PROCESSING WASTE OF BUILDING MATERIALS TO ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY AND THEIR SECONDARY USE

V.D. Klyuev, Chief Researcher, SRI FRCEC, Ph. D., Professor, Full Member of Academy of Military Sciences, kluev@extech.ru

Yu.A. Biryukov, Doctoral Student, Military Institute (Engineering and Technological) of the Military Academy of Material and Technical Support named after General of the Army A.V. Khrulev, Doctor of Engineering, uabiryukov@mail.ru

V.V. Panayetova, Director of Department, FAU RosdorNII, Doctor of Economics, vicvic913@yandex.ru

The article deals with the problem of using resource-saving technologies for processing construction materials waste to ensure environmental safety and reuse of materials during the dismantling (demolition) of buildings. Justification is given for the development and adaptation of the theory of using resource-saving technologies in the organization of dismantling (demolition) of buildings.

Keywords: dismantling (demolition) of buildings, resource-saving technologies, recycling of construction materials, recycling of materials, environmental safety.

Введение

В обнародованной Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года (далее – Стратегия) в качестве предполагаемых рисков, препятствующих достижению ключевых показателей Стратегии,

указаны в том числе риски, связанные с недостаточным ресурсным обеспечением, включая объемы производства строительных материалов. В связи с этим достаточно остро встают вопросы переработки отходов строительных материалов, получаемых при демонтаже (сносе) зданий и сооружений и их повторном использовании, что в определенной степени снизит предполагаемые риски.

На основе проведенного анализа выявлено, что сегодня перерабатывается всего лишь 12–20 % отходов строительных материалов, что составляет 16–21 % от общего объема всех отходов в нашей стране [1–4, 16, 19, 22]. При больших разрушениях, и особенно на огромных площадях, закономерно возникает проблема решения вопросов переработки значительных объемов строительных отходов в целях получения из них материалов вторичного использования.

Переработка и повторное применение отходов каменной кладки

Известны различные способы переработки и повторного применения отходов от разборки, и особенно каменной кладки. Такой материал применим при укладке оснований временных дорог, площадок, автостоянок и других второстепенных дорожных покрытий. Бой кирпича может использоваться для подсыпки покрытия временных грунтовых дорог на стройплощадках и в садоводствах. Кирпичный бой позволяет быстро заполнить выбоины и ямы, временно устранить повреждения дорожного покрытия до проведения текущего ремонта. Важную роль играет такой материал и при проведении строительных работ нулевого цикла, так как используется для подсыпки под строительство, особенно на слабых и болотистых почвах, для предотвращения просадок строений [12–15, 17, 20].

Материалы от разборки каменной кладки успешно применяли и для нового строительства несущих и ограждающих конструкций. Так, при разборке кирпичной кладки из растворов М25 и ниже в первую очередь из завалов стен выбирали целый кирпич и половняк, очищая его от раствора. Такой кирпич легко очищается и может быть использован при кладке забутки стен наравне с новым кирпичом.

Кирпич и половняк, полученные от разборки кладки на прочном растворе, плохо поддаются очистке, вследствие чего такой кирпич использовали в качестве заполнителя в бетоне и бутобетоне для кладки фундаментов и отдельных массивов, а вторичный щебень – в бетоне для устройства межбалочного бетонного заполнения перекрытий и подготовок под полы. На таком заполнителе получают бетоны с пределом прочности от 10 до 15 МПа и плотностью 1800–2000 кг/м³, т. е. на 20 % легче, чем на обычных тяжелых заполнителях.

Кирпичный бой использовался в качестве отсыпки оснований под временные дороги и обочины. Мелкий кирпичный бой, не отсеянный от мусора, а также строительный мусор применялись в качестве засыпок в стенах облегченных кладок. Строительный мусор, получаемый после отсева щебня, применялся как утеплитель чердачных перекрытий, а также взамен песка в растворах и бетонах. Кирпичная крошка является хорошим тепло- и шумоизолятором, если частично заполнить ею стены.

Во время и после Великой Отечественной войны при восстановлении разрушенных городов использовалась цемянка, представляющая собой тонкомолотый кирпичный порошок, имеющий зерна, сравнимые по размеру с зернами цемента. Цемянка применялась в смеси с цементом или известью для приготовления растворов и бетонов. Добавление цемянки в цементные растворы и бетоны давало экономию цемента, а в известковых растворах на воздушной извести цемянка играла роль гидравлической добавки [5–8].

Для изготовления цемянки может применяться кирпич с остатками раствора или без него. Наличие старого раствора желательно, так как старый раствор сохраняет некоторую активность. Цемянка, полученная из кирпича без примеси вяжущего, не обладает свойствами вяжущего. При добавлении цемянки к цементу до 25–30 % активность этой смеси не уменьшается по сравнению с активностью чистого цемента, а в некоторых случаях даже и повышается. При увеличении доли цемянки (более 30 %) активность смеси заметно падает.

Сроки твердения цементно-цемяночного вяжущего несколько удлиняются по сравнению с твердением цемента без добавок. Удлинение сроков схватывания происходит обратно пропорционально изменению активности. Нарастание прочности цементно-цемяночного вяжущего в первое время происходит медленнее, чем нарастание прочности цемента, а в дальнейшем превышает его по скорости (в пределах 2 мес.).

В смеси с воздушной известью цемянка образует вяжущее, отличное от известкового, и приобретает свойства гидравлического вяжущего. Скорость нарастания прочности смеси извести с цемянкой и окончательная прочность значительно выше, чем те же показатели у известковых растворов с другими заполнителями. Достаточно сказать, что в лабораторных условиях удавалось добиваться прочности известково-цемяночных растворов $R_{28} = 25$ МПа, а в среднем прочность колебалась от 10 до 14 МПа. При этом наибольшую прочность давали растворы, по составу близкие к следующему: цемянка + песок (мелкий кирпичный бой с зернами 1,0–0,15 мм) + извести пушонки 6–10 % (от суммарного веса первых двух составных частей). При уменьшении количества извести в пределах до 2,5 % прочность падала на 20–25 %. При дальнейшем уменьшении количества извести прочность падала. Очень большое влияние на прочность цемяночного раствора оказывает количество воды: при его увеличении на 10 % прочность падает на 20–30 %. Уменьшение количества воды ниже 10 % трудно осуществимо вследствие того, что раствор становится неудобоукладываемым. Исходя из этого оптимальное количество воды принималось равным 15 %. В этом случае прочность известково-цемяночного раствора составляла от 5 до 9 МПа.

Процесс приготовления цемянки состоит из предварительного раздробления в щебенку каменных глыб, получаемых от разборки зданий, и последующего помола щебня при помощи специализированных дробильных машин. Сырье – кирпичная кладка, раздробленная на месте разборки на блоки крупностью до 40 см, – подается транспортером на камнедробилку. Камнедробилка может быть применена любая (конусная, молотковая, щековая), с выходным отверстием, отрегулированным на выпуск фракций не крупнее 20–30 мм. Камнедробилку желательно устанавливать на 1,5–2,0 м выше уровня земли, с тем чтобы выходящий из нее кирпичный щебень попадал непосредственно в помольную машину. В качестве помольной машины применимы шаровые мельницы, бегуны или дезинтеграторы. Продолжительность помола устанавливается в зависимости от применяемого типа машин и колеблется в пределах от 15 до 18 мин. После указанного времени, потребного для помола, дальнейшего увеличения тонкости помола не происходит. Это обстоятельство и служит критерием, определяющим время для помола [11].

В результате помола и просеивания по фракциям получается продукт с содержанием 40–55 % фракций крупностью цемента и 65–45 % фракций крупностью в пределах 1,0–0,15 мм. Вследствие очень небольшой собственной активности цемянки влажность ее во время хранения не играет практически никакой роли. Но работать на производстве значительно удобнее с сухой цемянкой, а поэтому при хранении ее нужно защищать от намокания.

Однако существующие способы применения отходов каменной кладки для возведения новых стен не в полной мере соответствуют современным требованиям по обеспечению теплоэффективности ограждающих конструкций, что не позволяет комплексно использовать отходы в новом строительстве.

Исходя из этого предлагается использование материалов от разборки каменной кладки для приготовления кладочного раствора и пенобетонного заполнителя для облегченной кладки стен малоэтажных зданий.

Для приготовления кладочного цементно-известкового раствора и пенобетона используется цемянка с содержанием фракций крупностью цемента и мелкий заполнитель из каменной крошки с содержанием фракций крупностью в пределах 1,0–0,15 мм.

Решая вопрос об использовании стеновых материалов для переработки их на цемянку, целесообразно на месте производимой разборки здания установить дробилку, чтобы с

территории разборки вывозить готовую продукцию – цемянку. Ориентировочные расходы вяжущего на 1 м³ песка и на 1 м³ раствора приведены в табл. 1, где $R_B = M_B/1000$.

Таблица 1

Ориентировочные расходы вяжущего на 1 м³ песка и на 1 м³ раствора

Вяжущие	Марка раствора M_p	Марка вяжущего M_B	Показатель $R_B Q_B$	Расход вяжущего, кг	
				На 1 м ³ песка	На 1 м ³ раствора
Вяжущие по: ГОСТ 10178–85; ГОСТ 25328–82; ГОСТ 22266–2013	150	500	140	280	330
		400		350	400
		300		470	510
	100	500	102	205	250
		400		255	300
		300		340	390
	75	500	81	160	195
		400		200	240
		300		270	310
		200		405	445
	50 25	400	56	140	175
		300		185	225
		200		280	325
		300	31	105	135

Приготовление цемяночного цементно-известкового раствора может производиться как на растворобетонном узле, так и в отдельно стоящем на строительной площадке растворосмесителе принудительного действия.

Для получения заданной марки раствора в случае применения вяжущих, отличающихся маркой $M_{вф}$ от приведенных в табл. 2, расход вяжущего на 1 м³ мелкого заполнителя определяют по формуле:

$$Q_{вф} = \frac{R_B Q_B}{M_{вф}} 1000,$$

где Q_B – расход вяжущего на 1 м³ мелкого заполнителя, кг; $Q_{вф}$ – расход вяжущего с иной активностью; $R_B Q_B$ – принимается для данной марки раствора.

Расход для смешанных цементно-известковых растворов и мелкого заполнителя приведен в рыхлонасыпанном состоянии при естественной влажности 3–7%.

Количество известкового теста V_d на 1 м³ мелкого заполнителя определяется по формуле:

$$V_d = 0,17(1 - 0,002 Q_B),$$

где V_d – неорганическая добавка на 1 м³ мелкого заполнителя, м³.

При применении цементно-известковых растворов для надземных конструкций при относительной влажности воздуха помещений свыше 60% отношение объема известкового теста к насыпному объему цемента составляет не более 1:1.

Таблица 2

Прочность цемяночного цементно-известкового раствора

Возраст, сут.	Прочность раствора, %, при температуре твердения, °С						
	1	5	10	20	30	40	50
1	1	4	6	13	23	32	43
2	3	8	12	23	38	54	76
3	5	11	18	33	49	66	85
7	15	25	37	55	72	87	100
14	31	45	60	80	92	100	—
21	42	58	74	92	100	—	—
28	52	68	83	100	—	—	—

Пропорция объемных частей раствора ($V_B:V_D:1$) составляется на основании данных о расходе вяжущего и известкового теста после деления составляющих:

$$\frac{V_B}{V_B} : \frac{V_D}{V_B} : \frac{1}{V_B},$$

где V_B – расход вяжущего на 1 м³ мелкого заполнителя, м³.

Расход вяжущего на 1 м³ песка V_B определяют по формуле:

$$V_B = \frac{Q_B}{\gamma},$$

где γ – насыпная плотность вяжущего, кг/м³.

Дозировку извести в качестве неорганической добавки по объему осуществляют в виде теста плотностью 1400 кг/м³ (при применении извести I сорта количество теста уменьшается на 10 %).

Расход воды на 1 м³ мелкого заполнителя для получения растворной смеси заданной подвижности зависит от состава раствора, вида вяжущего и заполнителя и устанавливается на опытных замесах. Для цементно-известковых растворов подвижностью 9–10 см расход воды на 1 м³ песка может быть определен по формуле:

$$B = 0,5 (Q_B + Q_D),$$

где B – расход воды на 1 м³ песка, кг; Q_D – расход известкового теста на 1 м³ песка, кг.

Составы цементно-известковых растворов приведены в табл. 3, а в табл. 4 приведены расходы цемента и цементной пыли, которую допускается вводить в состав растворов.

Приготовление растворных смесей выполняется на растворобетонном узле (РБУ) или в отдельно стоящих растворосмесителях на строительной площадке. При приготовлении растворных смесей следует обеспечить обязательные условия:

- дозировка составных частей раствора производится по массе и корректируется при изменении вида, плотности и активности вяжущего, влажности и плотности заполнителя, вида пластифицирующих добавок;

- подвижность раствора должна отвечать заданной величине;

- необходимо тщательное перемешивание составляющих.

Таблица 3

Составы цементно-известково-цемяночных растворов для надземных конструкций при относительной влажности воздуха помещений до 60 %

Марка раствора	Составы в объемной дозировке растворов при марке вяжущего				
	500	400	300	200	150
150	1:0,3:4	1:0,2:3	1:0,1:2,5	—	—
100	1:0,5:5, 5	1:0,4:4,5	1:0,2:3,5	—	—
75	1:0,8:7	1:0,5:5,5	1:0,3:4	1:0,1:2,5	—
50	—	1:0,9:8	1:0,6:6	1:0,3:4	—
25	—	—	1:1,4:10,5	1:0,8:7	1:0,3:4

Таблица 4

Расход цемента и цемянки

Марка раствора	Марка вяжущего	Расход цемента и цемянки, кг, на 1 м ³ мелкого заполнителя с влажностью 3–7 % кгс/см ²	
		Цемент	Цемянка
150	400	345	90
	300	465	50
100	400	250	105
	300	335	85
75	400	195	100
	300	260	85
	200	395	45
50	400	130	135
	300	175	110
	200	270	85
25	300	95	140
	200	140	125

Данные по подбору состава пенобетона приведены в табл. 5.

Таблица 5

Характеристики пенобетона на цемяночном растворе

Наименование показателя	Значение показателя						
Плотность пенобетона в сухом состоянии, кг/см ²	400	600	800	1000	1200	1400	1600
Мелкий заполнитель (до 2 мм)	—	270	400	560	750	950	1100
Цемент марки М400 50 %, цемянка 50 %	320	270	320	350	360	380	400
Вода для приготовления раствора, л	112	97	120	140	151	167	184
Вода для приготовления пены, л	17	21	19	17	14	11	9
Количество пены, л	805	715	630	560	460	370	290
Количество пенообразователя, кг	0,9	0,8	0,76	0,68	0,56	0,45	0,36
Вес сырой пенобетонной массы, кг	450	659	860	1068	1276	1509	1693
Водоцементное соотношение исходного раствора	0,35	0,36	0,37	0,4	0,42	0,44	0,46

Погрешность дозирования материалов, составляющих растворную смесь, не должна превышать: 1 % – при дозировании вяжущих, воды и добавок; 2 % – при дозировании песка.

При приготовлении растворов с микропенообразователями вначале перемешивают пластификатор с водой в течение 30–45 с, затем загружают остальные материалы. Перемешивание всех указанных растворов продолжается до получения однородной массы, но не менее 1 мин. Контроль качества растворов производится в соответствии с ГОСТ 5802–86 «Растворы строительные. Методы испытаний» и состоит из определения следующих основных показателей:

- подвижности растворной смеси;
- расслаиваемости растворной смеси;
- водоудерживающей способности растворной смеси;
- плотности растворной смеси и затвердевшего раствора;
- предела прочности на сжатие (марки) раствора;
- морозостойкости раствора.

Подвижность растворной смеси определяется для каждого состава раствора, а также при всяком изменении качества материалов: вида вяжущего, крупности и влажности песка, вида добавок и т. п. При одном и том же качестве материалов подвижность растворной смеси определяется не менее 1 раза в смену. Расслаиваемость растворной смеси определяется в тех случаях, когда ее хранение или транспортирование (автомобилями, вагонетками и другими транспортными средствами) может вызвать расслоение и нарушение однородности.

Водоудерживающая способность растворной смеси определяется в целях установления состава раствора, обеспечивающего получение расчетной прочности (марки) раствора в условиях отсоса из него воды кирпичом или камнем.

Переработка органических и минеральных материалов

Большой проблемой является комплексная переработка органических и минеральных материалов, образующихся от сноса зданий и сооружений.

К материалам и оборудованию, которые могут быть использованы после восстановления, относятся: элементы встроенной мебели, паркет, дверные полотна, контрольно-измерительные приборы систем инженерного оборудования (водомеры, газовые и электрические счетчики, датчики автоматической пожарной сигнализации и др.), домофоны, элементы систем инженерного оборудования (газовые и электрические плиты, газовые водонагреватели, распределительные щиты с предохранителями и рубильниками, кабельные коробки, коммутаторы и др.), а также фаянсовые, эмалированные и скобяные изделия, изделия из цветных металлов, запорная и регулирующая арматура. Приборы и оборудование, не требующие восстановления, должны быть подвергнуты специализированными службами профилактическому ремонту, включающему проверку, чистку и регулировку, в целях приведения их в соответствие действующим техническим условиям.

К вторичному сырью, которое подлежит утилизации при сносе строений, относятся: макулатура (бумага, картон, текстиль, упаковка), стеклобой, черный и цветной металлолом, битум и асфальт, пластмассы (полиэтилен-терефталат, поливинилхлорид, полиэтилен высокого и низкого давления, пластики, полистирол), резина, древесина [9, 10, 24–27].

Материалы от разборки могут быть повторно использованы по следующим направлениям:

– демонтированные металлические и деревянные конструкции следует подвергнуть резке по габаритным размерам в целях дальнейшего применения;

– находящиеся в хорошем состоянии теплоизоляционные материалы, аккуратно демонтированные фрагменты коммуникационных сетей (водопроводные, электрические, газовые, канализационные, телефонные), запорная арматура и т. п. после сортировки и проверки могут быть повторно использованы;

– регистрирующие приборы, нагревательное оборудование (чугунные и металлические радиаторы) и т. д., находящиеся в рабочем состоянии, после их демонтажа, профилактических работ и повторной сертификации могут использоваться по назначению;

– повторно могут быть использованы непосредственно конструкции и отделочные элементы, бывшие в употреблении: каменные наружные ступени, каменные облицовочные плиты цоколя и наружных стен, облицовка полов, лестниц, стеклопакеты, алюминиевые переплеты окон, деревянные и металлические коробки окон и дверей, дверные блоки, чугунные кованые ограждения и т. д.

Отходы сноса и демонтажа строительных конструкций зданий и (или) сооружений, непригодные для вторичного использования, имеющие допустимый уровень содержания опасных и вредных веществ, должны использоваться для засыпки отработанных карьеров и иных неудобных территорий. Места хранения отходов должны быть утверждены и включены в перечень территорий для размещения отходов строительства и сноса и расположены в непосредственной близости от населенных пунктов.

Технологический процесс переработки металлолома

При сносе металлических и железобетонных конструкций зданий и сооружений, демонтаже инженерного и технологического оборудования образуется лом черных и (в значительно меньших количествах) цветных металлов. Технологический процесс переработки металлолома включает его сбор, сортировку, раздельное складирование лома цветных и черных металлов, переплавку на специализированных предприятиях.

Сбор, сортировку и складирование металлолома выполняют с помощью средств механизации, применяемых при сносе объектов. При этом выполняют резку и раскрой металлолома, измельчение и дробление железобетонных конструкций с сепарацией арматуры.

Ежегодно с использованием лома черных металлов в мире выплавляется каждая третья тонна стали. Переработка такого лома при плавке металла обеспечивает снижение затрат производства на материал шихтового типа, энергоресурсы и многое другое. Так, технология литья стали предполагает достаточно большой объем металлолома для смешивания его с чугуном. При этом чем больше лома использовано при выплавке, тем более высокого качества будет сталь. При этом переработка лома черных металлов гораздо экологичнее, дешевле и экономически выгоднее, чем добыча нового металла. Для переработки требуется меньше топлива и производственных мощностей, чем для добычи металла и производства новых сплавов.

Переработка прочих материалов

Отходы материалов на бумажной основе (картон, обои, упаковочная бумага) могут использоваться для производства теплоизоляционных смесей, кровельных материалов типа «Ондулин», «Эковата».

Отходы штукатурного раствора могут применяться в качестве порошковых наполнителей при производстве стеновых блоков, смесей монолитного литья.

Отходы на основе минеральных вяжущих (гипсокартон, известково-песчаные, известково-шлаковые смеси и др.) рекомендуются как заполнители при изготовлении стеновых блоков.

Древесные материалы (поврежденные конструкции, столярные изделия, тара, фанера, древесно-стружечные плиты и т. д.) могут перерабатываться в измельчителях в стружку, опилки, щепу и использоваться в качестве сырья для производства древесностружечных и древесноволокнистых плит, арболита, теплоизоляционных и звукоизоляционных плит или для получения тепловой энергии.

Все виды старой древесины перерабатывают, как правило, в два этапа. Вначале производят предварительное измельчение до фракции 120–400 мм. Для доизмельчения и получения топливной щепы применяют вторичные измельчители роторного типа.

Для утилизации древесины разработана технология, позволяющая перерабатывать предварительно измельченные древесные отходы в синтетический или генераторный газ – смесь CO и H₂ – с теплотворной способностью 1200 ккал, который является альтернативой природному газу, мазуту и углю в паровых котлах, дизельному топливу в дизель-генераторах на специальной установке.

Модуль установки мощностью 1 МВтэ располагается в габаритах четырех 12-метровых контейнеров и перерабатывает 1 т отходов в час.

Отходы древесины могут подвергаться и химической обработке. Существуют следующие виды химической обработки древесины: термическая, экстракционная, гидролизная переработка древесины, производство целлюлозы и продуктов из нее. При производстве бумаги на первом этапе путем измельчения древесных отходов и целлюлозы подготавливают древесно-бумажную массу в водной среде, затем вводят добавки: наполнители, проклейку, красители. На заключительном этапе на непрерывно движущейся сетке отливают бумажную массу, обезживают, прессуют, сушат и сматывают в рулон. Процесс изготовления – непрерывный.

Не подлежит повторному использованию и переработке древесина, пораженная домовыми грибами и жуками-точильщиками, – ее необходимо сжигать на специальных площадках.

Переработка пластиковых отходов

Важным направлением является переработка пластиковых отходов ввиду увеличения их удельного веса в общем объеме. Насчитывается около 150 видов пластиков, при этом 30 % от этого – смеси различных полимеров. Такие отходы загрязняют окружающую среду. Пластик относится к материалам, которые практически не разлагаются со временем, а при его сжигании выделяются крайне токсичные вещества, которые невозможно вывести из организма. В настоящее время проблема переработки отходов полимерных материалов получает актуальность не только в связи с охраной окружающей среды, но и по причине дефицита полимерного сырья. Из 1 кг отходов (полиэтилентерефталат (ПЭТФ), полипропилен (ПП), полиэтилен высокого давления (ПВД), полиэтилен низкого давления (ПНД)) получается 0,8 кг вторичного сырья [21].

Известно несколько способов переработки пластика: механический и химические, к последним следует отнести пиролиз, гидролиз, гликолиз, метанолиз. Самым распространенным химическим способом переработки пластика является метанолиз – расщепление отходов с помощью метанола.

Однако в настоящее время наиболее приемлемым методом переработки остается механический рециклинг – вторичная переработка, так как этот способ не требует дорогого специального оборудования и может быть реализован в любом месте накопления отходов.

Процесс переработки пластиковых отходов включает три основных этапа: дробление, агломерацию и грануляцию.

Переработку отходов пластика начинают с их сортировки. Вначале отходы пластика сортируют по цвету и видам пластмасс. Далее отходы подвергают дроблению на ножевой дробилке. Полученную крошку промывают водой или раствором каустической соды и высушивают при температуре 130 °С. Очень важно правильно высушить пластмассу: от этого напрямую зависит качество вторичного сырья. Следующий этап – агломерация. Крошка спекается в небольшие комочки. Заключительный этап переработки – грануляция. Материал в процессе грануляции уплотняется и становится более удобным для дальнейшей переработки.

Оборудование для переработки пластиковых отходов представляет собой широкий спектр разных агрегатов, которые используются для утилизации отходов разного типа, это и дробилки для пластика, и прессы для пластика. Станки по переработке пластика и пластмассы подразделяются на разные виды в зависимости от того, для каких отходов они предназначаются.

Вторичный пластик используется для листа, пленки, бандажной ленты, упаковки. Из пластиковых отходов и минеральных наполнителей (золы, песка) может производиться полимербетон, имеющий разнообразное применение.

Для ускорения и упрощения переработки полимерных отходов от демонтажа (сноса) зданий авторами разработана мобильная установка переработки полимерных отходов, которая подтверждена патентом на полезную модель № 195999 «Мобильный комплекс переработки полимерных отходов» [18] и представлена на рис. 1 и 2.

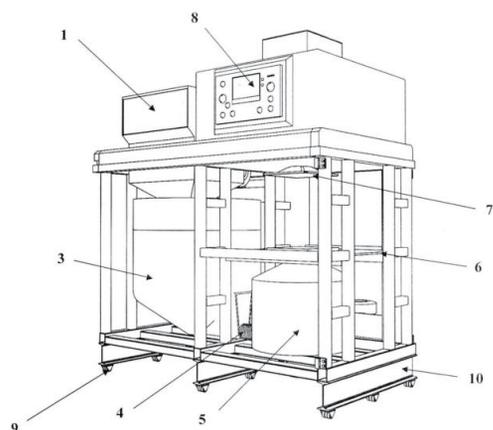


Рис. 1. Фронтальный вид мобильного комплекса переработки полимерных отходов

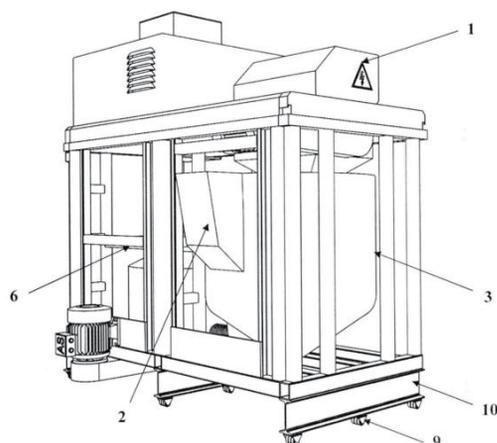


Рис. 2. Вид задней части мобильного комплекса переработки полимерных отходов

Данная мобильная система может быть использована для переработки полимерных отходов от демонтажа (сноса) зданий при их больших объемах и для производства композитного штучного строительного материала при значительном удалении от стационарных перерабатывающих комплексов в закрытых и отдаленных регионах страны.

В основе разработки мобильного комплекса лежит задача создания компактной мобильной системы переработки полимерных отходов с возможностью доставки любым видом транспорта, а также способной свободно перемещаться, и с возможностью ее установки на неподготовленные площадки за счет оборудования рамы установки регулирующими по высоте роликами.

Отличительные признаки установки – наличие соединительной нагревательной трубки, измельчителя полимерных отходов, экструдера, подающего нагретую смесь на формовочную площадку, а также регулируемых по высоте роликов, установленных на раму установки. При этом в установке отсутствуют ленточный конвейер и модуль подачи поддонов, что снижает потребность в площади для размещения установки.

Мобильный комплекс перерабатывающей системы содержит измельчитель полимерных отходов (1), бункер-дозатор (2) для засыпания абразивных материалов, емкость для их перемешивания (3), соединительную нагревательную трубку, нагревающую полученную смесь (4), экструдер (5), подающий нагретую смесь на формовочную площадку (6), вибропресс для формования изделий (7), оснащенный панелью управления (8), регулируемые по высоте ролики (9), установленные на раме установки (10).

Функционирует перерабатывающая система следующим образом: полимерные отходы помещаются в измельчитель, абразивные материалы засыпаются в бункер-дозатор, откуда поступают в емкость для перемешивания с измельченными полимерными отходами. Затем через соединительную нагревательную трубку они поступают в экструдер, подающий нагретую смесь на формовочную площадку, где смесь формируется с помощью вибропресса, оснащенного панелью управления. После чего с помощью регулируемых по высоте роликов система может быть установлена на любую поверхность и способна свободно перемещаться.

В целях расширения возможностей транспортирования мобильного комплекса переработки полимерных отходов в виде блок-контейнера для его перемещения применяется любой грузовой транспорт, включая мусоровозы с системой «мультилифт», что представлено на рис. 3.

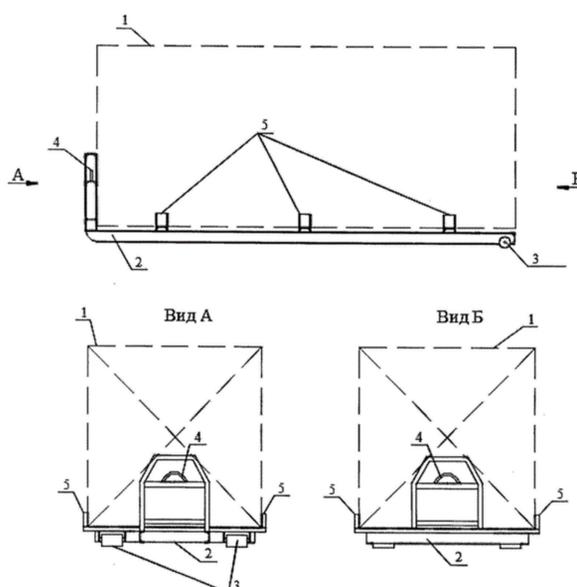


Рис. 3. Устройство для транспортировки блок-контейнера:

1 – жилой блок-контейнер, 2 – опорная рама, 3 – задние опорные катки, 4 – проушина, 5 – габаритные ограничители-крепления

Новизна разработки подтверждается патентом на полезную модель № 189398 «Устройство для транспортировки блок-контейнера» [23].

Существующая конструкция рамы основания блок-контейнера дополнена опорными катками и проушинами, что позволяет использовать штатную технику и существенно повышает мобильность блок-контейнеров, обеспечивая надежность крепления блок-модуля при транспортировке за счет использования креплений-ограничителей.

Вывод

На наш взгляд, предлагаемые ресурсосберегающие технологии и оборудование для их осуществления повысят эффективность использования бюджетных ассигнований, выделяемых на строительство зданий и сооружений, за счет переработки строительных отходов,

получаемых при разборке (демонтаже) объектов, и их повторном использовании, что в определенной степени снижает возможный дефицит материальных ресурсов и повысит экологическую безопасность.

Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской работы, проводимой ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по государственному заданию № 075-01394-20-02 на 2020 г. Министерства образования и науки РФ в сфере экспертизы по проекту 730000Ф.99.1.БВ15АА00003.

Список литературы

1. Акри Е.П., Пташинский Д.Г. Современные методы утилизации и переработки строительного мусора // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 60 (1). С. 76–78.

2. Башева Т.С., Шейх А.А., Гаркушина М.П. Анализ и оценка существующих методов обращения со строительными отходами // Инновации в строительстве. 2017. С. 37–43. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32688630> (дата обращения: 07.08.2020).

3. Бирюков А.Н., Денисов В.Н., Бирюков Ю.А. Восстановление объектов военной инфраструктуры при ликвидации последствий вооруженных конфликтов: моногр. СПб.: ВИ(ИТ) ВА МТО, 2019. 338 с.

4. Бирюков А.Н., Денисов В.Н., Бирюков Ю.А. Снос зданий и сооружений в современных условиях: моногр. СПб.: ВА МТО. 2014. 256 с.

5. Бирюков А.Н. Концепция восстановления и строительства объектов при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в системе обеспечения экономической безопасности страны // Вестник гражданских инженеров: науч.-техн. журнал. 2012. № 4 (33). С. 123–129.

6. Бирюков А.Н. Механизм предпочтения концепции восстановления и строительства объектов // Вестник Моск. ун-та им. С.Ю. Витте: эл. науч. журнал. Сер. 1. Экономика и управление. 2012. № 2. С. 26–32.

7. Бирюков А.Н. Военно-экономический механизм выбора концепции восстановления и строительства объектов при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций // Современные проблемы науки и образования: эл. журнал. 2012. № 1.

8. Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А. Основные организационно-технологические решения и экономическая целесообразность сноса зданий // Вестник гражданских инженеров: науч.-техн. журнал. 2012. № 5 (34). С. 103–109.

9. Бирюков А.Н., Добрышкин Е.О., Кравченко И.Н. Планирование восстановления объектов жилищного фонда на основе вариантного проектирования // Системные технологии. 2019. № 1 (30). С. 63–70. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40460323> (дата обращения: 07.08.2020).

10. Бирюков А.Н., Добрышкин Е.О. Совершенствование логистики процесса поставок материальных ресурсов автомобильным транспортом на объекты военно-строительного комплекса // Военный инженер. 2019. № 1 (11). С. 13–20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37037730> (дата обращения: 07.08.2020).

11. Веснеболоцкий К.И., Маслобоев Д.С. Утилизация отходов. СПб.: Изд-во Балт. гос. техн. ун-та, 2012. 92 с.

12. Губанов Л.Н., Зверева В.И., Зверева А.Ю. Переработка, утилизация и рациональное использование строительных отходов // Приволжский научный журнал. 2013. № 2 (26). С. 94–98. URL: <https://e.lanbook.com/reader/journalArticle/95660/#1> (дата обращения: 07.08.2020).

13. Костецкий Н.Ф., Лунев Г.Г. Организационно-технологические проблемы использования вторичных строительных ресурсов при реконструкции объектов недвижимости // Экономика строительства. 2005. № 4. С. 2–12.

14. Кравцова М.В., Васильев А.В., Кравцов А.В., Носарев Н.С. Анализ методов утилизации отходов строительства с последующим вовлечением их во вторичный оборот // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2015. Т. 17. № 4 (4). С. 804–809. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27035395> (дата обращения: 07.08.2020).

15. Кравченко И.Н., Бирюков А.Н., Тростин В.П., Федоров А.О. Модернизация технологического оборудования по обогащению местных строительных материалов и утилизации разрушенных конструкций // Строительные и дорожные машины. 2019. № 12. С. 44–51.

16. Лунев Г.Г. Анализ экономической эффективности цикла переработки вторичных строительных ресурсов // Вестник ЮРГТУ (НПИ). 2014. № 1. С. 127–137. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21830640> (дата обращения: 07.08.2020).

17. Маругин В.М., Азгальдов Г.Г., Белов О.Е., Бирюков А.Н. Квалиметрическая экспертиза строительных объектов. СПб.: Политехника, 2008. 527 с.

18. Мобильный комплекс переработки полимерных отходов: пат. 195999 Российская Федерация: МПК В29В 17/00, В29В 11/10, В29В 13/02 / М.Ю. Гляков, Р.О. Гольцин, Ю.А. Бирюков, А.Н. Бирюков, М.С. Шкиря; Санкт-Петербург. Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева. № 2019117343; заявл. 04.06.19; опубл. 12.02.20. Бюл. № 5. 3 с.

19. Олейник С.П. Единая система переработки строительных отходов // СвР-АРГУС. 2006. 336 с.

20. Прохоцкий Ю.М., Лунев Г.Г. Организационные и экономические проблемы использования вторичных строительных ресурсов при реконструкции объектов недвижимости // Инноватика и экспертиза. 2010. Вып. 1 (4). С. 81–94. URL: http://inno-exp.ru/archive/04/innov_4_2010_81-94.pdf (дата обращения: 07.08.2020).

21. Скочихина Т.В. Динамика переработки строительных отходов, образующихся на территории Санкт-Петербурга // Науч. журнал НИУ ИТМО. Сер.: Экономика и экологический менеджмент. 2015. № 1. С. 228–238. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23216645> (дата обращения: 07.08.2020).

22. Стальная М.И. Технологическая переработка отходов пластмасс в строительный материал // Актуальные проблемы развития науки и образования. М., 2014. С. 141–143.

23. Устройство для транспортировки блок-контейнера: пат. 189398 Российская Федерация: МПК В60Р 3/36 / Янович К.В., Лунев А.С., Бирюков Ю.А., Бирюков А.Н.; Санкт-Петербург. Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева. № 2018142334; заявл. 29.11.18; опубл. 21.05.19. Бюл. № 15. 3 с.

24. Bolotin S., Birjukov A. Time Management in Drafting Probability Schedules for Construction Work // World Applied Sciences Journal. 2013. № 13. P. 1–4.

25. Biryukov A.N., Bulanov A.I., Ivanovsky V.S., et al. // Basics of organization, economy and management in construction. M.: Spetsstroy Russia Publishing, 2012. P. 319–322.

26. Biryukov A., Bolotin S. Construction of temporary accommodation camp and selection of optimal type of building // Periodical «Applied Mechanics and Materials». 2015. Vol. 725–726. P. 105–110; 2015. Trans Tech Publications, Switzerland / Online available since 2015/Jan/29 at www.scientific.net, ISSN 2304-6295, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.105 (accessed: 07.08.2020).

27. Dobryshkin E.O., Birjukov A.N., Birjukov Yu.A., Tishchenko V.A. Complex approach to organizations' capital assets reproduction. E3S Web of Conferences 157, 04026 (2020) KTTI-2019. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015704026> (accessed: 07.08.2020).

References

1. Akri E.P., Ptashinsky D.G. (2020) *Sovremennyye metody utilizatsii i pererabotki stroitel'nogo musora* [Modern methods of utilization and processing of construction waste] *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education] No. 60 (1). P. 76–78.

2. Basheva T.S., Sheikh A.A., Garkushina M.P. (2017) *Analiz i otsenka sushchestvuyushchikh metodov obrashcheniya so stroitel'nymi otkhodami* [Analysis and assessment of existing methods of handling construction waste] *Innovatsii v stroitel'stve* [Innovations in construction]. P. 37–43. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32688630> (date of access: 07.08.2020).

3. Biryukov A.N., Denisov V.N., Biryukov Yu.A. (2019) *Vosstanovlenie ob"ektov voennoy infrastruktury pri likvidatsii posledstviy vooruzhennykh konfliktov: monogr.* [Restoration of objects of military infrastructure in the elimination of the consequences of armed conflicts: monograph.] *VI(IT) VA MTO* [VI (IT) VA MTO]. St. Petersburg. P. 338.

4. Biryukov AN, Denisov VN, Biryukov Yu.A. (2014) *Snos zdaniy i sooruzheniy v sovremennykh usloviyakh: monogr.* [Demolition of buildings and structures in modern conditions: monograph.] *VA MTO* [VA MTO]. St. Petersburg. P. 256.
5. Biryukov A.N. (2012) *Kontseptsiya vosstanovleniya i stroitel'stva ob"ektov pri likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy v sisteme obespecheniya ekonomicheskoy bezopasnosti strany* [The concept of restoration and construction of facilities during the elimination of the consequences of emergency situations in the system of ensuring the country's economic security] *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov: nauch.-tekhn. zhurnal* [Bulletin of civil engineers: scientific and technological Journal]. No. 4 (33). P. 123–129.
6. Biryukov A.N. (2012) *Mekhanizm predpochteniya kontseptsii vosstanovleniya i stroitel'stva ob"ektov* [The mechanism of preference for the concept of restoration and construction of objects] *Vestnik Mosk. un-ta im. S.Yu. Vitte: el. nauch. zhurnal. Ser. 1. Ekonomika i upravlenie* [Bulletin of Moscow State University named after S.Yu. Witte: email scientific. Journal. Ser. 1. Economics and Management]. No. 2. P. 26–32.
7. Biryukov A.N. (2012) *Voенно-ekonomicheskiiy mekhanizm vybora kontseptsii vosstanovleniya i stroitel'stva ob"ektov pri likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy* [Military-economic mechanism for choosing the concept of restoration and construction of facilities in the elimination of the consequences of emergency situations] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya: el. zhurnal* [Modern problems of science and education: el. Journal]. No. 1.
8. Biryukov A.N., Biryukov Yu.A. (2012) *Osnovnye organizatsionno-tekhnologicheskie resheniya i ekonomicheskaya tselesoobraznost' snosa zdaniy* [Basic organizational and technological solutions and economic feasibility of demolishing buildings] *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov: nauch.-tekhn. zhurnal* [Bulletin of civil engineers: scientific and technological Journal]. No. 5 (34). P. 103–109.
9. Biryukov A.N., Dobryshkin E.O., Kravchenko I.N. (2019) *Planirovanie vosstanovleniya ob"ektov zhilishchnogo fonda na osnove variantnogo proektirovaniya* [Planning for the restoration of housing facilities on the basis of variant design] *Sistemnye tekhnologii* [System technologies]. No. 1 (30). P. 63–70. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40460323> (date of access: 07.08.2020).
10. Biryukov A.N., Dobryshkin E.O. (2019) *Sovershenstvovanie logistiki protsessa postavok material'nykh resursov avtomobil'nyim trans-portom na ob"ekty voенно-stroitel'nogo kompleksa* [Improving the logistics of the process of supplying material resources by road transport to the facilities of the military-construction complex] *Voенnyy inzhener* [Military engineer]. No. 1 (11). P. 13–20. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37037730> (date of access: 07.08.2020).
11. Vesnebolotsky K.I., Masloboev D.S. (2012) *Utilizatsiya otkhodov* [Recycling] *Izd-vo Balt. gos. tekhn. un-ta* [Publishing house Balt. state tech. University]. St. Petersburg. P. 92.
12. Gubanov L.N., Zvereva V.I., Zvereva A.Yu. (2013) *Pererabotka, utilizatsiya i ratsional'noe ispol'zovanie stroitel'nykh otkhodov* [Recycling, disposal and rational use of construction waste] *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [Privolzhsky scientific journal]. No. 2 (26). S. 94–98. Available at: <https://e.lanbook.com/reader/journalArticle/95660/#1> (date of access: 07.08.2020).
13. Kostetsky N.F., Lunev G.G. (2005) *Organizatsionno-tekhnologicheskie problemy ispol'zovaniya vtorichnykh stroitel'nykh resursov pri rekonstruktsii ob"ektov nedvizhimosti* [Organizational and technological problems of using secondary construction resources in the reconstruction of real estate objects] *Ekonomika stroitel'stva* [Economics of construction]. No. 4. P. 2–12.
14. Kravtsova M.V., Vasiliev A.V., Kravtsov A.V., Nosarev N.S. (2015) *Analiz metodov utilizatsii otkhodov stroitel'stva s posleduyushchim вовлечением их во vtorichnyy oborot* [Analysis of methods of utilization of construction waste with their subsequent involvement in secondary circulation] *Izv. Samarskogo nauch. tsentra RAN* [News of Samara scientific center of RAS]. Vol. 17. No. 4 (4). P. 804–809. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27035395> (date of access: 07.08.2020).
15. Kravchenko I.N., Biryukov A.N., Trostin V.P., Fedorov A.O. (2019) *Modernizatsiya tekhnologicheskogo oborudovaniya po obogashcheniyu mestnykh stroitel'nykh materialov i utilizatsii razrushennykh konstruksiy* [Modernization of technological equipment for the enrichment of local building materials and utilization of destroyed structures] *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and road machines]. No. 12. P. 44–51.
16. Lunev G.G. (2014) *Analiz ekonomicheskoy effektivnosti tsikla pererabotki vtorichnykh stroitel'nykh resursov* [Analysis of the economic efficiency of the recycling cycle of secondary construction resources] *Vestnik YuRGU*

(NPI) [Bulletin of YURSTU (NPI)]. No. 1. P. 127–137. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21830640> (date of access: 07.08.2020).

17. Marugin V.M., Azgaldov G.G., Belov O.E., Biryukov A.N. (2008) *Kvalimetriceskaya ekspertiza stroitel'nykh ob"ektov* [Qualimetric examination of construction projects] *Politekhnika* [Polytechnic]. St. Petersburg. P. 527.

18. *Mobil'nyy kompleks pererabotki polimernykh otkhodov: pat. 195999 Rossiyskaya Federatsiya: MPK B29B 17/00, B29B 11/10, B29B 13/02/M.Yu. Glyakov, R.O. Gol'tsin, Yu.A. Biryukov, A.N. Biryukov, M.S. Shkiryay; Sankt-Peterburg. Voennaya akademiya material'no-tekhnicheskogo obespecheniya im. generala armii A.V. Khruleva* [Mobile complex for processing polymer waste: US Pat. 195999 Russian Federation: IPC B29B 17/00, B29B 11/10, B29B 13/02. M.Yu. Glyakov, R.O. Goltsin, Yu.A. Biryukov, A.N. Biryukov, M.S. Shkiryay. Military Academy of Logistics. General of the Army A.V. Khrulev]. St. Petersburg. No. 2019117343. Declared 04.06.2019; publ. 12.02.20. Bul. No. 5. P.3.

19. Oleinik S.P. (2006) *Edinaya sistema pererabotki stroitel'nykh otkhodov* [Unified system for processing construction waste] *SvR-ARGUS* [SvR-ARGUS]. P. 336.

20. Prokhotskiy Yu.M., Lunev G.G. (2010) *Organizatsionnye i ekonomicheskie problemy ispol'zovaniya vtorichnykh stroitel'nykh resursov pri rekonstruktsii ob"ektov nedvizhimosti* [Organizational and economic problems of the use of secondary construction resources in the reconstruction of real estate objects] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and expert examination]. Issue. fourteen. P. 81–94. Available at: http://inno-exp.ru/archive/04/innov_4_2010_81-94.pdf (date of access: 07.08.2020).

21. Skochikhina T.V. (2015) *Dinamika pererabotki stroitel'nykh otkhodov, obrazuyushchikhsya na territorii Sankt-Peterburga* [Dynamics of processing construction waste generated on the territory of St. Petersburg] *Nauch. zhurnal NIU ITMO. Seriya Ekonomika i ekologicheskii menedzhment* [Scientific. NRU ITMO magazine. Ser. Economics and Environmental Management]. No. 1. P. 228–238. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23216645> (date of access: 07.08.2020).

22. Stalnaya M.I. (2014) *Tekhnologicheskaya pererabotka otkhodov plastmass v stroitel'nyy material* [Technological processing of plastic waste into building material] *Aktual'nye problemy razvitiya nauki i obrazovaniya* [Actual problems of the development of science and education]. Moscow. P. 141–143.

23. *Ustroystvo dlya transportirovki blok-konteynera: pat. 189398 Rossiyskaya Federatsiya: MPK B60R 3/36/ Yanovich K.V., Lunev A.S., Biryukov Yu.A., Biryukov A.N.; Sankt-Peterburg. Voennaya akademiya material'no-tekhnicheskogo obespecheniya im. generala armii A.V. Khruleva* [Device for transporting a block container: US Pat. 189398 Russian Federation: IPC B60R 3/36. Yanovich K.V., Lunev A.S., Biryukov Yu.A., Biryukov A.N.; Military Academy of Logistics. General of the Army A.V. Khrulev]. No. 2018142334. Declared 29.11.2018; publ. 21.05.2019. St. Petersburg. Bul. No 15. P. 3.

24. Bolotin S., Birjukov A. (2013) Time Management in Drafting Probability Schedules for Construction Work. *World Applied Sciences Journal*. No. 13. P. 1–4.

25. Biryukov A.N., Bulanov A.I., Ivanovsky V.S., et al. (2012) Basics of organization, economy and management in construction. *Spetsstroy Russia Publishing*. Moscow. P. 319–322.

26. Biryukov A., Bolotin S. (2015) Construction of temporary accommodation camp and selection of optimal type of building. *Periodical «Applied Mechanics and Materials»*. Vol. 725–726. P. 105–110; 2015. Trans Tech Publications, Switzerland. Online available since 2015/Jan/29 at www.scientific.net. ISSN 2304-6295, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.105 (data access: 07.08.2020).

27. Dobryshkin E.O., Birjukov A.N., Birjukov Yu.A., Tishchenko V.A. (2020) Complex approach to organizations' capital assets reproduction. *E3S Web of Conferences 157, 04026 KTTI-2019*. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015704026> (date of access: 07.08.2020).