
НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

**Оценка экономической эффективности направлений развития отрасли
по переработке вторичных строительных ресурсов**

© 2021 г. Г.Г. Лунев, И.А. Тарасова

Г.Г. Лунев,

*РАНХиГС при Президенте Российской Федерации; ООО «Рецикл Материалов»,
АИИ им. А.М. Прохорова, Москва, e-mail: spezsstr@yandex.ru*

И.А. Тарасова,

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград;
e-mail: tarasova.irina.aleks@gmail.com*

Поступила в редакцию 04.05.2020

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы увеличения мощности и развития отрасли по утилизации вторичных строительных ресурсов (ВСР), которая может осуществляться путем создания новых перерабатывающих комплексов, реконструкции, технического перевооружения существующих предприятий или перепрофилировании убыточного производства в других отраслях экономики страны. Произведена оценка и обоснована целесообразность создания и функционирования региональных комплексных организационных структур по переработке и использованию ВСР при реконструкции объектов. Сформулирована и решена задача определения срока вывода предприятия из эксплуатации, с учетом возможности снижения затрат на реконструкцию за счет реализации остаточного материального потенциала ВСР, полученных после его ликвидации, и определены факторы, влияющие на эффективность их переработки. Результаты расчетов показывают, что увеличение объема рециклинга ВСР, полученных при производстве строительно-демонтажных работ позволяют до 25% снизить материальные затраты на реконструкцию и техническое перевооружение промышленных объектов. Одним из выводов статьи является необходимость государственного нормативно-законодательного стимулирования и регулирования развития сферы утилизации ВСР, обеспечивающего формирование стоимости хранения неиспользуемых отходов выше, чем стоимость их переработки.

Ключевые слова: вторичные строительные ресурсы, надежность, начало реконструкции, отходы строительства и сноса, ресурсосбережение, рециклинг, экономико-математические методы, экономическая эффективность.

Классификация JEL: G11, G17, Q53.

DOI: 10.31857/S042473880014083-0

ВВЕДЕНИЕ

В России каждый год образуется до 17 млн т отходов строительства и сноса (ОСС)¹, из которых перерабатывается (Олейник, 2016; Цховребов, 2019) не более 10–15%. В процессе реновации ветхого жилого фонда, а также при реализации национальных проектов России² их прирост к 2030 г. может увеличиться до 60%³. Рост объема образования ОСС вызывает необходимость повышения эффективности утилизации⁴ и увеличения производительности перерабатывающей промышленности страны с целью возврата в производство тех составляющих, которые пригодны к применению (Лунев, 2019) как вторичные строительные ресурсы⁵.

¹ Источник: <http://betonzone.com/vyvoz-i-pererabotka-stroitelnyx-otxodov>

² Нацпроект «Жилье и городская среда» затронет около 7,5 тыс. городов и муниципалитетов. В его рамках модернизации подлежат около 200 тыс. объектов (<https://tass.ru/ekonomika/5453682>).

³ Источник: <https://cniipminstroy.ru/press/publikaczii/othodny-promisel-interview-sg>

⁴ Утилизация отходов: деятельность, связанная с использованием отходов на этапах их технологического цикла, и/или обеспечение повторного (вторичного) использования или переработки списанных изделий. [ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения].

⁵ «Вторичные строительные ресурсы — накопления сырья, веществ, материалов и строительных отходов, образованные в процессе реконструкции, техническом перевооружении, полном сносе морально и физически устаревших объектов, жилых зданий и сооружений, а также новом строительстве и производстве строительных материалов» (Лунев, 2019).

Современная мировая практика утилизации отходов (Hendric, Jansen, 2003; Кирсанов, 2014) и отечественный опыт (Альбитер, Смирнова, 2013; Лунев, 2019), основанные на принципах экономики замкнутого цикла (Тенденции и практика экономики..., 2019), показывают, что наиболее эффективным методом утилизации ВСР является их рециклинг⁶.

При увеличении объема рециклинга ВСР сокращается добыча и переработка первичных природных ископаемых, уменьшается техногенная нагрузка (Любарская, 2004; Краснощеков, Лунев, 2017) на окружающую природную среду и население, развивается малый и средний бизнес, увеличивается занятость работников (Голиков и др., 2017), растут личные доходы населения и снижается социальная напряженность в регионе. Повышение качества и объема научно-исследовательских работ при создании передовых ресурсосберегающих технологий переработки ВСР и новых материалов ведет к развитию научно-технического прогресса (Глазьев, 2014; Макаров, Варшавский, 2015) как в строительном комплексе, так и в остальных отраслях экономики.

Одним из итогов начала реновации в Москве является признание того, что в настоящее время происходит формирование благоприятных эколого-экономических и нормативно-законодательных условий (Дубинчина, 2019) для привлечения государственных и частных инвестиций во внедрение инвестиционных проектов (ИП) по развитию индустрии переработки ВСР.

При строительно-демонтажных работах в процессе реновации ветхого жилого фонда в Москве, после разборки инженерных систем в основном образуются бетонные и железобетонные виды ВСР, которые перерабатываются механическими методами (дроблением). Именно таким путем получается до 87% вторичного щебня, 10% отсева и 3% металлического лома. Первые два вида ВСР нашли широкое применение в дорожном строительстве, устройстве фундаментов, полов и площадок, производстве строительных материалов (стенных блоков и панелей, декоративно-отделочной плитки и др.). Это позволяет до 25% снизить долю материальных затрат на бетонные работы в общей стоимости затрат на строительство объекта⁷.

Позиция авторов состоит в том, что практически все ОСС, полученные в процессе реновации ветхого фонда, могут быть использованы в качестве ВСР. Например, при сносе зданий образуется значительное количество замусоренного грунта. Он не представляет экономического интереса и технологической возможности для производства новых строительных материалов. Однако существует практика применения его в качестве засыпного материала траншей, котлованов, насыпей, устройства откосов и др. В таком случае материальные затраты практически равны нулю.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЦИКЛИНГА ВСР ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ

Анализ содержания и структуры основных стадий ИП и специфических особенностей этапов рециклинга ВСР (Чулков, 2011; Лунев, 2020) позволяет сформулировать базовый подход, состоящий в том, что управление и организацию их переработки следует начинать не на стадии образования и сбора, а на всех этапах жизненного цикла строительной продукции. При проектировании ИП (Башкина, Дубовицкая, 2017; Лунев, Прохоцкий, 2020) требуется заранее рассматривать вопросы эколого-экономической эффективности оборота ВСР в материально-техническом производстве после окончания срока эксплуатации объекта.

При реконструкции объектов весь объем V^* ВСР делится на перерабатываемые и неперерабатываемые части: $V^* = V_y + V_n$, где V^* — общий объем ВСР; V_y — объем ВСР, подлежащих переработке и дальнейшему применению в качестве товарной строительной продукции; V_n — объем ВСР, подлежащих захоронению.

Практика показывает, что одним из организационно-технологических направлений развития отрасли переработки ВСР и более полной реализации их материального потенциала является создание комплексных холдингов, кооперированных с другими промышленными предприятиями

⁶ «В соответствии с принятой системой стандартизации терминов, “рециклинг” — процесс возвращения отходов, сбросов и выбросов в процессы техногенеза. Рециклинг является составной частью утилизации отходов, под которой понимается ликвидация или повторное полезное использование отходов, их составных частей или материалов» (https://studopedia.su/16_5126_retsikling.html).

⁷ Переработка бетона (ЖБИ, бетонных изделий), инструкция утилизации железобетонных отходов. Источник: <https://nbt.su/vtorichnyj-shheben-pererabotka-boya-betona/>

региона. Работа холдинга организуется по замкнутому циклу «разработка проекта — демонтажные работы — раздельный сбор и сортировка — транспортировка — переработка ВСР — использование вторичной товарной продукции».

Оценку экономической эффективности (Виленский, Лившиц, Смоляк, 2015; Аглицкий, Клейнер, Сирота, 2018) для холдингов такого типа произведем по величине чистого дисконтированного дохода:

$$\begin{aligned}\text{ЧДД}_{\text{хх}}(V_y, V_n) &= \sum_{t=1}^T \left[R_{\text{хх}}(V_y, V_n) - Z_{\text{хх}}(V_y, V_n) \right] / (1 + E_d)^t = \\ &= \sum_{t=1}^T \left[R_{\text{хх}}(V_y, V_n) - Z_{\text{хх}}(V_y, V_n) \right] d,\end{aligned}$$

где $\text{ЧДД}_{\text{хх}}(V_y, V_n)$ — чистый дисконтированный доход в году t расчетного периода времени T при создании ИП для переработки ВСР; $R_{\text{хх}}(V_y, V_n)$ — доход холдинга и его общие затраты $Z_{\text{хх}}(V_y, V_n)$ за расчетный период при потреблении ВСР; E_d — принятая норма дисконта; t — расчетный период действия проекта; d — коэффициент дисконтирования.

Доход холдинга формируется за счет доходов от выполнения демонтажных работ $R_{\text{д}}(V_y, V_n)$, производства строительно-монтажных работ $R_{\text{см}}(V_y, V_n)$ и реализации вторичной товарной продукции $R_{\text{п}}(V_y, V_n)$ и определяется по формуле

$$\begin{aligned}R_{\text{хх}}(V_y, V_n) &= \sum_{t=1}^T \left[R_{\text{д}}(V_y, V_n) + R_{\text{см}}(V_y, V_n) + R_{\text{п}}(V_y, V_n) \right] = \\ &= \sum_{t=1}^T (q_1(V_y + V_n) + q_2(V_y + V_n) + q_3 V_y),\end{aligned}\quad (1)$$

где q_1 и q_2 — удельные показатели стоимости демонтажных и строительно-монтажных работ; q_3 — удельный показатель рыночной стоимости вторичной товарной продукции, произведенной из ВСР.

Затратная составляющая $Z_{\text{хх}}(V_y, V_n)$ для холдинга состоит из затрат $Z_{\text{д}}(V_y, V_n)$ на производство демонтажных работ, общих затрат $Z_{\text{см}}(V_y, V_n)$ на производство строительно-монтажных работ, затрат $Z_{\text{пп}}(V_y, V_n)$ перерабатывающих предприятий, затрат $Z_{\text{тс}}(V_y, V_n)$ на хранение неперерабатываемых ВСР и транспортных затрат $Z_{\text{тр}}(V_y, V_n)$:

$$Z_{\text{хх}}(V_y, V_n) = Z_{\text{д}}(V_y, V_n) + Z_{\text{см}}(V_y, V_n) + Z_{\text{пп}}(V_y, V_n) + Z_{\text{тс}}(V_y, V_n) + Z_{\text{тр}}(V_y, V_n),$$

где

$$Z_{\text{д}}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T q_{01}(V_y + V_n); \quad Z_{\text{см}} = \sum_{t=1}^T q_{02}(V_y + V_n); \quad Z_{\text{тс}}(V_y, V_n) = Z_{\text{ис}} + Z_{\text{ism}};$$

q_{01} и q_{02} — удельные показатели затрат на демонтажные и строительно-монтажные работы (без стоимости материалов); $Z_{\text{ис}}$ — затраты на строительно-монтажные работы (без стоимости материалов); Z_{ism} — материальные затраты на строительно-монтажные работы.

Материальные затраты $Z_{\text{ism}}(V_y, V_n)$ состоят из затрат $Z_{\text{им1}}(V_y, V_n)$ на приобретение материалов из первичных природных ресурсов (взамен неиспользуемых V_n) и затрат $Z_{\text{им2}}(V_y, V_n)$ на приобретение материалов, произведенных из ВСР (с учетом V_y):

$$Z_{\text{ism}}(V_y, V_n) = Z_{\text{им1}}(V_y, V_n) + Z_{\text{им2}}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T (q_{03} V_n + q_{04} V_y),$$

где q_{03} — удельный показатель стоимости потребных в производстве новых материалов; q_{04} — удельные показатели затрат переработки и приведение ВСР в кондиционное состояние.

Затраты на переработку и приведение ВСР в кондиционное состояние для перерабатывающих предприятий равны $Z_{\text{пп}}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T q_{04} V_y$, а затраты на хранение неперерабатываемых ВСР — $Z_{\text{тс}}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T q_{05} V_n$, где q_{05} — удельный показатель затрат на хранение неперерабатываемых ВСР.

Транспортные затраты $Z_{\text{тр}}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T (V_y + V_n) q_{06}$, где q_{06} — удельный показатель транспортных затрат.

Таким образом, имеем

$$\begin{aligned}Z_{\text{хх}}(V_y, V_n) &= \sum_{t=1}^T q_{01}(V_y + V_n) + \sum_{t=1}^T q_{02}(V_y + V_n) + \sum_{t=1}^T (q_{03} V_n + q_{04} V_y) + \sum_{t=1}^T q_{04} V_y + \\ &+ \sum_{t=1}^T q_{05} V_n + \sum_{t=1}^T (V_y + V_n) q_{06} = \sum_{t=1}^T [q_{01}(V_y + V_n) + q_{02}(V_y + V_n) + \\ &+ (q_{03} V_n + q_{04} V_y) + q_{05} V_n + (V_y + V_n) q_{06}]\end{aligned}\quad (2)$$

Таблица. Исходные данные для расчета $\Delta\text{ЧДД}_{\text{кху}}(V_y, V_n)$

Показатель	q_1	q_2	q_{31}	q_{32}	q_{01}	q_{02}	q_{03}	q_{04}	q_{05}	q_{06}
Численное значение, тыс. руб./т	56	175	7	35	39,2	98	35	8,75	0	0,98

и тогда

$$\begin{aligned} \text{кху}(V_y, V_n) = \sum_{t=1}^T \left[(q_1(V_y + V_n) + q_2(V_y + V_n) + q_3 V_y) \right] - \sum_{t=1}^T \left[q_{01}(V_y + V_n) + \right. \\ \left. + q_{02}(V_y + V_n) + (q_{03} V_n + q_{04} V_y) + q_{05} V_n + (V_y + V_n) q_{06} \right] d. \end{aligned} \quad (3)$$

В качестве примера рассмотрим расчет экономической эффективности повторного использования ВСР при перепрофилировании промышленного предприятия Москвы, выполненный строительно-монтажной организацией «Спецстройкомплект», руководимой одним из авторов (см. таблицу). В процессе работ был произведен демонтаж существующего технологического оборудования в общем объеме $V^* = 445$ т. Дальнейшая работа с демонтированным оборудованием была возложена на строительно-монтажную организацию. Перед началом работ были отработаны два варианта утилизации ВСР.

Первый вариант предусматривал утилизацию ВСР (без дополнительной переработки) в качестве металлического лома для переплавки на металлургических предприятиях. В этом случае можно считать $V^* = V_n = 445$ т (несмотря на то что реализация оборудования по удельной стоимости металлического лома q_{31} приносит определенный доход), т.е. $V_y = 0$. Основное преимущество данного варианта состоит в отсутствии дополнительных затрат, связанных с необходимостью раздельного сбора, предварительной сортировки и приведением ВСР в кондиционное состояние. Основным его недостаток — потеря потенциальной прибыли от использования остаточного потенциала ВСР.

Второй вариант предусматривал максимальную реализацию материального ресурса ВСР путем их приведения в кондиционное состояние, с последующим применением в новом производстве в качестве технологического оборудования или реализации по удельной стоимости q_{32} на рынке вторичного оборудования. Практика показывает, что повторно можно применить до 85% оборудования данного типа. В таком случае имеем $V_y = 378$ т; $V_n = 67$ т. Основным преимуществом данного подхода является получение для предприятия дополнительного дохода. Основным недостаток: данный процесс — это длинные деньги и требует дополнительных финансовых ресурсов для компенсации затрат, связанных с его реализацией.

Оценку экономической эффективности обоих вариантов произведем по величине прироста чистого дисконтированного дохода $\Delta\text{ЧДД}_{\text{кху}}(V_y, V_n)$. Исходные данные для расчета (при $d = 0,2$) представлены в таблице. Тогда по формуле (3) получаем

$$\Delta\text{ЧДД}_{\text{кху}}(V_y, V_n) = \text{ЧДД}_{\text{кху}}(V_y, V_n) - \text{ЧДД}_{\text{кх1}}(V_y, V_n) = 7274,8 - 5856,2 = 1418,6 \text{ тыс. руб.}$$

Повышение экономической эффективности строительно-демонтажных работ при реконструкции объектов за счет возврата в производственный процесс приведенных в кондиционное состояние технологических ВСР составляет до 20–25%. Наиболее востребованным оказалось универсальное оборудование для механической обработки металлических конструкций и материалов (токарные, фрезерные, сверлильные станки, гильотины и сварочные аппараты). Основными их преимуществами являются многофункциональность, надежность, простота и не столь высокая стоимость эксплуатации, что очень важно для предприятий малого и среднего бизнеса, которые и являются основными потребителями данного вида продукции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАЧАЛА РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ РЕЦИКЛИНГЕ ВСР

Практика доработки технологического оборудования и его реализации на рынке вторичной товарной продукции показала (Лунев Г., Лунева И., Тарасова, 2017), что на снижение затрат по приведению ВСР в кондиционное состояние наибольшее влияние оказывает физический износ оборудования и конструкций, входящих в его состав. Основными факторами, определяющими величину физического износа, являются условия и срок эксплуатации реконструируемого объекта.

При расчете срока эксплуатации промышленных объектов специалистами в области надежности и восстановления (Барлоу, Прошан, 1984; Корчагин, 2011) рассматриваются факторы,

влияющие на надежность элементов конструкций и оборудования, входящих в объект, с учетом затрат на поддержание их технического состояния и выполнения своего функционального назначения в процессе эксплуатации.

Задача определения срока начала вывода из эксплуатации и начала реконструкции промышленного предприятия устанавливается следующим условием: при достижении отрицательного значения прибыли $\Pi(t) < 0$ последующая его эксплуатация считается экономически невыгодной и оно подлежит ликвидации (реконструкции).

При определении срока эксплуатации промышленного предприятия, кроме других экономических и технико-технологических факторов, предлагается учитывать возможность дальнейшего использования остаточного материального потенциала ВСП после его ликвидации как дополнительного источника дохода и снижения затрат на реконструкцию. Такой подход означает, что ВСП, после приведения их в кондиционное состояние, могут быть применены в новом строительстве по прямому назначению или реализованы на рынке вторичной продукции как сырье, материалы, конструкции и оборудование для других отраслей промышленности.

Таким образом, следует вычислить момент времени на интервале $(0, t)$ при эксплуатации (жизненном цикле) объекта, на котором затраты на реконструкцию производства станут наименьшими, а выручка от реализации ВСП после ликвидации производственного объекта достигнет максимального значения. Организационно-экономические управленческие задачи данного типа в условиях неполной детерминированности производственных процессов, как правило, решаются с применением методов прогнозирования и экономико-математического моделирования (Конесев, Хазиева, 2015; Звягин, 2017), а также аппарата математического анализа, дифференциального и интегрального вычислений (Венецкий, Венецкая, 1974; Солодовников, Бабаев, Браилов, 2011).

В качестве базового параметра, который определяет состояние промышленного предприятия в данный период времени t , нами принята производственная мощность $M(t)$. Она является производной по времени от производительности предприятия $\Phi(t)$, т.е.

$$M(t) = \Phi'(t) \Rightarrow \Phi(t) = \int_0^t M(t) dt. \quad (4)$$

Определим первоначальную производственную мощность (M_0) предприятия в момент времени $t = 0$, тогда $M(t) = M_0 \varphi(t)$ — производственная мощность предприятия в точке t (начало вывода предприятия из эксплуатации). $M(t)$ — это показатель, определяющий эффективность функционирования предприятия в процессе эксплуатации, а значит, он представляет некую функцию надежности работы его технологического оборудования и систем. В теории надежности рассмотрены различные варианты функций наработки систем и законы распределения времени возникновения отказов, среди которых наиболее распространенными и удобными в расчетах (Горский, 1970) являются показательные и степенные функции. С увеличением срока эксплуатации происходит физический износ технологического оборудования и снижение производственной мощности предприятия, поэтому $\varphi(t)$ неограниченно убывает. Пусть, в нашем случае, $\varphi(t)$ — убывающая показательная функция.

В процессе функционирования в момент времени на интервале $(0, t)$ предприятие получает прибыль

$$\Pi(t) = F(t) - Y(t), \quad (5)$$

где $F(t)$ — объем выпускаемой продукции, при исключении брака и расходов на ремонт технологического оборудования; $Y(t)$ — величина объема выпускаемой продукции, при наличии производственного брака и расходов на ремонт технологического оборудования.

Объем производимой продукции в момент времени t без учета бракованной продукции, расходов на ремонт и регламент технологического оборудования определяется по формуле

$$F(t) = \int_0^t M_0 \varphi(t) dt + \int_0^t q_{33} V(t) dt + a \int_0^\infty S(t) dt.$$

В данной формуле первый интеграл представляет стоимость произведенной продукции до проведения технического контроля качества и исключения брака. Второй — определяет выручку за счет реализации отходов производства, которые не могут быть использованы на данном предприятии и выведены из производственного процесса (технологического цикла), где $V(t)$ — неиспользуемые на предприятии удельные производственные отходы, которые реализуются на рынке вторичной продукции. Показатель $V(t)$ считаем величиной, пропорциональной производственной мощности предприятия, т.е. $V(t) = V_0 \varphi(t)$, где $V_0 = V(0)$ — количество отходов в момент начала работы предприятия. Третий интеграл представляет выручку от реализации выведенного из эксплуатации

ВСП (физически и морально изношенного оборудования и др.), где a — коэффициент, определяющий долю вторичной рыночной стоимости оборудования, материалов и др. от первоначальной стоимости оборудования с теми же характеристиками, объемом и качеством ($0 < a < 1$); $S(t)$ — удельная потеря стоимости оборудования при износе в момент времени t . При эксплуатации оборудования показатель $S(t) = S_0\varphi(t)$ является переменной величиной, которая в процессе работы предприятия возрастает с течением времени и в момент начала эксплуатации нового предприятия $S_0 = S(t=0)$; q_{33} — удельный показатель рыночной стоимости отходов производства.

Величина объема производимой продукции, при изготовлении определенного количества бракованной продукции и затрат на ремонт и регламент технологического оборудования, рассчитывается по формуле

$$Y(t) = \int_0^t (1-c)bM_0\varphi(t)dt + \int_0^t S_0\varphi(t)dt + \Psi(t),$$

где первый интеграл — потеря выручки предприятия при выпуске бракованной продукции, b — часть ($0 < b < 1$) бракованной продукции предприятия, не отвечающей требованиям качества; c — часть ($0 < c < 1$) стоимости бракованной продукции от стоимости основной продукции, отвечающей требованиям качества; второй интеграл — стоимость износа технологического оборудования на интервале $(0, t)$, $\Psi(t)$ выражает величину затрат на ремонт и регламент технологического оборудования предприятия.

Определим момент времени t^* , когда функция выручки $\Pi(t)$ будет максимальной. В соответствии с признаком максимума функции вычислим ее производную и приравняем к нулю, т.е. $\Pi'(t) = F'(t) - Y'(t) = 0$, отсюда $F'(t) = Y'(t)$, где $F'(t) = M_0\varphi(t) + q_{33}V_0\varphi(t) + aS_0\varphi(t)$, $Y'(t) = (1-c)bM_0\varphi(t) + S_0\varphi(t) + \varphi(t)$. Таким образом,

$$M_0\varphi(t) + q_{33}V_0\varphi(t) + aS_0\varphi(t) = (1-c)bM_0\varphi(t) + S_0\varphi(t) + \varphi(t). \quad (6)$$

Для решения данного уравнения произведем анализ поведения функций $F'(t)$ и $Y'(t)$.

Функция $F'(t)$ определяет мощность предприятия, удельную стоимость выпускаемой продукции и отходов производства, удельную стоимость изношенного технологического оборудования на рынке ВСП в момент времени t . При увеличении срока эксплуатации предприятия функция $F'(t)$ убывает и стремится к нулю. Функция $Y'(t)$ определяет удельную цену ВСП на вторичном рынке, удельную стоимость изношенного технологического оборудования и оснастки, а также расходы на ремонт технологического оборудования. При увеличении срока эксплуатации предприятия функция $Y'(t)$ возрастает. Так как одна из функций $F'(t)$ монотонно убывает, а другая функция $Y'(t)$ монотонно возрастает, то графики, характеризующие поведение этих функций, пересекаются не более одного раза. Таким образом, уравнение (6) имеет или только единственное решение, или решения нет.

Практический интерес представляет вариант, когда для уравнения (6) возможно только единственное решение. В таком случае существует только одна точка t^* , в которой $F'(t^*) = Y'(t^*)$. Вывод из эксплуатации предприятия наступает в момент t^* , когда выручка от его функционирования достигает отрицательного значения.

Максимальную прибыль определяем путем подстановки значения t^* в уравнение (5):

$$\begin{aligned} \Pi(t^*) = F(t^*) - Y(t^*) = & \int_0^{t^*} M_0\varphi(t)dt + \int_0^{t^*} q_{33}V_0\varphi(t)dt + a \int_{t^*}^{\infty} S_0\varphi(t)dt - \\ & - \int_0^{t^*} (1-c)bM_0\varphi(t)dt - \int_0^{t^*} S_0\varphi(t)dt - \Psi(t^*), \end{aligned} \quad (7)$$

а рыночную стоимость ВСП $D(t)$ — подстановкой $t = t^*$ в выражение

$$D(t^*) = \int_0^{t^*} cbM_0\varphi(t)dt + q_{33} \int_0^{t^*} V_0\varphi(t)dt + a \int_{t^*}^{\infty} S_0\varphi(t)dt. \quad (8)$$

Первый интеграл представляет стоимость не соответствующей качеству бракованной продукции. Второй интеграл определяет стоимость технологических производственных отходов, а третий интеграл соответствует стоимости физически и морально изношенного оборудования и материалов на момент вывода предприятия из эксплуатации.

Рассмотрим применение полученных зависимостей на примере репрофилирования промышленного предприятия, которое было реконструировано предприятием «Спецстройкомплект», при

следующих исходных данных: $M_0 = 150\,000$ руб./сутки; $\varphi(t) = e^{-0,002t}$; $\Psi(t) = 3t^2$ руб./сутки; $b = 0,05$; $c = 0,3$; $S(t) = 500\varphi(t)$ руб./сутки; $V(t) = 1100\varphi(t)$ руб./сутки; $q_{33} = 10$ руб./единицу; $a = 0,4$.

Находим момент вывода предприятия из эксплуатации по формуле (6):

$$F' = 150\,000 e^{-0,002t} + 10 \times 1100 e^{-0,002t} + 0,4 \times 500 e^{-0,002t},$$

$$Y'(t) = (1 - 0,3) \times 0,05 \times 150\,000 e^{-0,002t} + 500 e^{-0,002t} + (3t^2)',$$

тогда

$$150\,000 e^{-0,002t} + 11\,000 e^{-0,002t} + 200 e^{-0,002t} = 5250 e^{-0,002t} + 500 e^{-0,002t} + (3t^2)',$$

отсюда $155\,450 e^{-0,002t} = 6t$. Исходя из данного выражения, используя численные методы решения (Фихтенгольц, 2001), получаем, что $F'(t^*) = Y'(t^*)$ при $t^* = 1444$ сутках. В таком случае при данном t^* прибыль $\Pi(t)$ достигает максимального значения.

Определим прибыль $\Pi(t)$, применив формулу (7):

$$\begin{aligned} \Pi(t^*) = & \int_0^{1444} 150\,000 e^{-0,002t} dx - \int_0^{1444} 11\,000 e^{-0,002t} dx + 0,4 \int_{1444}^{\infty} 500 e^{-0,002t} dx - \int_0^{1444} 5250 e^{-0,002t} dx - \\ & - \int_0^{1444} 500 e^{-0,002t} - 3(1444)^2 = 67\,052\,420 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Дополнительная выручка от реализации ВСР, в соответствии с формулой (8), может составить

$$D(t^*) = D(1444) = \int_0^{1444} 2250 e^{-0,002t} dx + \int_0^{1444} 11\,000 e^{-0,002t} dx + \int_{1444}^0 200 e^{-0,002t} dx = 6\,261\,639 \text{ руб.}$$

Объективная ситуация в экономике страны показывает, что большинство объектов эксплуатируются в течении сроков, значительно превышающих нормативные, поэтому полученные зависимости позволяют определить наиболее оптимальные сроки начала реконструкции (перепрофилирования) и вывода из эксплуатации объекта с учетом дальнейшего максимального использования остаточного материального потенциала ВСР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе реализации национальных проектов и реновации ветхого жилого фонда возрастает объем ОСС, материальный и энергетический потенциал которых необходимо использовать в качестве ВСР за счет развития и повышения эффективности их рециклинга. Одной из основных задач в экономике страны является повышение мощности, развитие инфраструктуры, технологий и методов переработки ВСР, а также совершенствование системы управления и улучшение организации данной отрасли.

Предлагается при оценке экономической эффективности реконструкции, технического перевооружения и перепрофилирования промышленных предприятий, наряду с учетом других показателей, рассматривать возможность снижения затрат на реализацию ИП за счет реализации остаточного материального потенциала ВСР.

Результаты расчетов показывают, что увеличение объема рециклинга ВСР и снижение стоимости приведения их в кондиционное состояние позволяют до 20–25% повысить эффективность строительно-демонтажных работ при реконструкции объектов. Значительное влияние на качество переработки ВСР оказывают условия и фактический период эксплуатации промышленного предприятия, поэтому предлагается определять сроки начала его реконструкции (ликвидации) с учетом максимального применения демонтированных ВСР (оборудования, конструкций, материалов и др.).

В случае если затраты на захоронение неиспользуемых ВСР ниже, чем затраты на их переработку и приведение в кондиционное состояние, то для многих предприятий выгоднее отправлять отходы производства на базы-полигоны на хранение, чем перерабатывать. Например, утилизацию опасных ВСР, которая необходима для решения экологических и социальных вопросов, невозможно реализовать только с использованием рыночных механизмов ввиду ее убыточности.

Поэтому возникает необходимость нормативно-законодательного регулирования рынка обращения ВСР и стимулирования развития отрасли по переработке ВСР за счет создания экономических условий, законодательно обеспечивающих увеличение стоимости захоронения неиспользуемых отходов выше, чем стоимости их переработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Аглицкий И.С., Клейнер Г.Б., Сирота Е.Н. (2018). Системный анализ инвестиционной деятельности. М.: ПРОМЕТЕЙ. [Aglickij I.S., Kleiner G.B., Sirota E.N. (2018). *Systematic analysis of investment activities*. Moscow: PROMETHEUS (in Russian).]
- Альбитер Л.М., Смирнова С.Б. (2013). Экономические основы рециклинга. Зарубежный опыт // *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Экономические науки»*. № 2 (8). С. 155–158. [Arbiter L.M., Smirnova S.B. (2013). Economic basis of recycling. Foreign experience. *Bulletin of Samara state technical University. Series "Economic Sciences"*, 2 (8), 155–158 (in Russian).]
- Барлоу Р., Прошан Ф. (1984). Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. [Barlow R., Proshan F. (1984). *Statistical theory of reliability and reliability tests*. Moscow: Nauka, Home Edition Physical and Mathematical Literature (in Russian).]
- Башкина Т.А., Дубовицкая С.А. (2017). Управление инновациями в сфере переработки отходов // *Экономика и бизнес: теория и практика*. № 12. С. 35–38. [Bashkina T.A., Dubovitskaya S.A. (2017). Management of innovations in the field of waste processing. *Economics and Business: Theory and Practice*, 12, 35–38 (in Russian).]
- Венецкий И.Г., Венецкая В.И. (1974). Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе. М.: Статистика. [Venezky I.G., Janecka V.I. (1974). *Basic mathematical and statistical concepts and formulas in economic analysis*. Moscow: Statistics (in Russian).]
- Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. (2015). Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. М.: ПолиПринт Сервис. [Vilensky P.L., Livshits V.N., Smolyak S.A. (2015). *Evaluation of the effectiveness of investment projects: Theory and practice*. Moscow: Polyprint Service (in Russian).]
- Глазьев С.Ю. (2014). Стратегические предпосылки модернизации и инновационного развития российской экономики. М.: ГУУ. [Glazyev S.Yu. (2014). *Strategic prerequisites of modernization and innovative development of the Russian economy*. Moscow: SUM (in Russian).]
- Голиков Р.А., Суржигов Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А. (2017). Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы) // *Научное обозрение. Медицинские науки*. № 5. С. 20–31. [Golikov R.A., Surzhikov D.V., Kislitsyna V.V., Steiger V.A. (2017). Impact of environmental pollution on public health (literature review). *Scientific Review. Medical Science*, 5, 20–31 (in Russian).]
- Горский Л.К. (1970). Статистические алгоритмы исследования надежности. М.: Главная редакция физико-математической литературы, Наука. [Gorsky L.K. (1970). *The statistical algorithms for reliability studies*. Moscow: Main edition of physical and mathematical literature, Nauka (in Russian).]
- Дубинчина С.В. (2019). Операционная стадия инвестпроекта. Какие риски учесть инвестору // *ТБО (Твердые бытовые отходы)*. № 2. С. 23–27. [Dubinchina S.V. (2019). Operational stage of the investment project. What risks should an investor consider? *MSW (Municipal Solid Waste)*, 2, 23–27 (in Russian).]
- Звягин Л.С. (2017). Применение методов математического и системного анализа в прогнозировании тенденций современной экономики // *Вопросы экономики и управления*. № 1. С. 10–17. [Zvyagin L.S. (2017). Application of methods of mathematical and system analysis in forecasting the trends of modern economy. *Questions of Economics and management*, 1, 10–17 (in Russian).]
- Кирсанов С.А. (2014). Мировой и российский опыт утилизации твердых бытовых отходов // *Вестник Омского университета. Серия «Экономика»*. № 2. С. 114–120. [Kirsanov S.A. (2014). World and Russian experience in solid waste disposal. *Bulletin of Omsk University. Economy Series*, 2, 114–120 (in Russian).]
- Конесев С.Г., Хазиева Р.Т. (2015). Методы оценки показателей надежности сложных компонентов и систем. Часть 1 // *Современные проблемы науки и образования*. № 1. Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=17558> [Konesev S.G., Khazieva R.T. (2015). Methods of estimation of indicators of reliability of complex components and systems. Part 1. *Modern Problems of Science and Education*, 1. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=17558> (in Russian).]
- Корчагин А.Б., Сердюк В.С., Бочкарев А.И. (2011). Надежность технических систем и техногенный риск. Омск: Изд-во ОмГТУ. [Korchagin A.B., Serdjuk V.S., Bochkarev A.I. (2011). *Reliability of technical systems and technogenic risk*. Omsk: Publishing house of OmGTU (in Russian).]
- Краснощеков В.Н., Лунев Г.Г. (2017). Методика оценки экономико-экологической эффективности комплексного использования вторичных строительных ресурсов // *ЭПОС*. № 1 (69). С. 101–111. [Krasnoshchekov V.N., Lunev G.G. (2017). Methods of assessment of economic and environmental efficiency of complex use of secondary construction resources. *EPOS*, 1 (69), 101–111 (in Russian).]
- Лунев Г.Г. (2019). Развитие методологии комплексного использования вторичных строительных ресурсов. Монография. М.: ООО «Научтехлитиздат». [Lunev G.G. (2019). *Development of methodology of complex use of secondary construction resources*. Monograph. Moscow: Nauchtekhlitizdat (in Russian).]

- Лунев Г.Г. (2020). Особенности и факторы, определяющие направления комплексного использования вторичных строительных ресурсов // *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*. № 2. [Lunev G.G. (2020). Features and factors that determine the direction of integrated use of secondary construction resources. *Bulletin of the Moscow University. Series 6. Economy*, 2 (in Russian).]
- Лунев Г.Г., Лунева И.Г., Тарасова И.А. (2017). Анализ организационно-технологических проблем комплексного использования вторичных ресурсов при реконструкции объектов // *Экологические системы и приборы*. № 2. С. 34–43. [Lunev G.G., Luneva I.G., Tarasova I.A. (2017). Analysis of organizational and technological problems of complex use of secondary resources in the reconstruction of objects. *Ecological Systems and Devices*, 1, 34–43 (in Russian).]
- Лунев Г.Г., Прохоцкий Ю.М. (2020). Рециклинг вторичных строительных ресурсов. Проблемы и перспективы отрасли на примере г. Москвы // *ЭКО (ЭКОномика и организация промышленного производства)*. № 4 (550). С. 166–192. [Lunev G.G., Prokhotzky Yu.M. (2020). Recycling of secondary construction resources. Problems and prospects of the industry on the example of Moscow. *ECO Journal (Economy and Organization of Industrial Production)*, 4 (550), 166–192 (in Russian).]
- Любарская М.А. (2004). Стратегическое управление процессом обращения твердых отходов в регионе. СПб.: СПбГИЭУ. [Lyubarskaya M.A. (2004). *Strategic management of solid waste management in the region*. Saint Petersburg: SPbGIEU (in Russian).]
- Макаров В.Л., Варшавский А.Е. (2015). Наука, высокотехнологичные отрасли и инновации. Глава 20. Экономика России. Оксфордский сборник. Книга 2. М.: Изд-во Института Гайдара. С. 815–846. [Makarov V.L., Varshavsky A.E. (2015). Science, high-tech industries and innovations. Chapter 20. Russian Economy. Oxford collection. Book 2. Moscow: Publishing house of the Gaidar Institute, 815–846 (in Russian).]
- Олейник С.П. (2016). Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений // *Интернет-журнал «Отходы и ресурсы»*. Т. 3 (2). Режим доступа: <http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf> [Oleynik S. (2016). Construction waste in the reconstruction of buildings and structures. *Online-magazine "Waste and resources"*, 3, 2. Available at: <http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf> (in Russian).]
- Солодовников А.С., Бабайцев В.А., Браилов А.В. (2011). Математика в экономике. Ч. 2. Математический анализ. М.: Финансы и статистика. [Solodovnikov A.S., Babaytsev V.A., Braiлов A.B. (2011). *Mathematics in Economics*. Ch. 2. Moscow: Finance and statistics (in Russian).]
- Тенденции и практика экономики замкнутого цикла в сфере обращения с отходами. Обзоры и аналитика (2019) // *ТБО (Твердые бытовые отходы)*. № 5. С. 26–30. [Trends and practices of the closed-cycle economy in the field of waste management. Reviews and Analytics (2019). *MSW (Municipal Solid Waste)*, 5, 26–30 (in Russian).]
- Фихтенгольц Г.М. (2001). Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3-х томах. М.: ФИЗМАТЛИТ. [Fichtenholz G.M. (2001). *Course of differential and integral calculus*. Moscow: FIZMATLIT (in Russian).]
- Цховребов Э.С. (2019). Формирование региональных стратегий управления обращением с вторичными ресурсами // *Вестник МГСУ*. Т. 14. Вып. 4. С. 450–463. [Tshovrebov E.S. (2019). Formation of regional strategies for managing the use of secondary resources. *Vestnik MGSU*, 14, 4, 450–463 (in Russian).]
- Чулков В.О. (2011). Производство и использование строительных материалов, изделий и систем. Т. 3. Остатки деятельности: мусор и отходы. Обращение с отходами, их рециклинг и использование. Серия «Инфографические основы функциональных систем» (ИОФС). М.: СВР–АРГУС. [Chulkov V.O. (2011). *Production and use of building materials, products and systems*. Vol. 3. The remains of activities: Rubbish and waste. Waste management, recycling and use. Series "Infographic bases of functional systems" (IOFS). Moscow: SVR–ARGUS (in Russian).]
- Hendrics Ch., Jansen G. (2003). Use of recycled materials in constructions. *Materials and Structures*, 263, November.

Assessment of economic efficiency of development directions of the industry on the use of secondary building resources

© 2021 G.G. Lunev, I.A. Tarasova

G.G. Lunev,

Department of nature management and environmental protection of Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation; "Recycle Materials", AIN A.M. Prokhorov, Moscow, Russia; e-mail: spezstr@yandex.ru

I.A. Tarasova,

Volgograd state technical University, Volgograd, Russia; e-mail: tarasova.irina.aleks@gmail.com

Received 04.05.2020

Abstract. In the process of implementation of national projects and renovation of dilapidated housing stock, an increase in the generation of construction and demolition waste is predicted, which sets the country's economy the task of increasing the volume of their use as secondary building resources (SRB). Recycling is the most effective method for using the material and energy potential of SRB. The article deals with the problems of increasing the capacity and development of the SRB processing industry, which can be carried out by creating new production processing complexes, reconstruction, modernization and technical re-equipment of existing enterprises and re-profiling unprofitable enterprises in other industries. The article evaluates the directions of development of the industry and substantiates the feasibility of creating and functioning regional integrated organizational structures for processing and using SRB in the reconstruction of facilities. The problem of determining the period of decommissioning of the enterprise is formulated and solved, taking into account the possibility of reducing the cost of reconstruction by using the remaining material potential of SRB obtained after its liquidation, and the factors affecting the efficiency of their processing are determined. One of the conclusions of the article is the need for state regulatory incentives and regulation of the development of the sphere of SRB utilization, which ensures that the cost of storing unused waste is higher than the cost of processing it.

Keywords: secondary building resources (SRB), reliability, the beginning of reconstruction, construction and demolition waste, resource saving, recycling, economic and mathematical methods, economic efficiency.

JEL Classification: G11, G17, Q53.

DOI: 10.31857/S042473880014083-0