

УДК 692.231.2

05.00.00 Технические науки

ПОДГОТОВКА КУСКОВЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Аксёнов Никита Вячеславович
аспирант

РИНЦ SPIN-код: 8291-1422

axyonov@mail.ru

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия

Рубинская Анастасия Владиславовна
к.т.н., доцент

РИНЦ SPIN-код: 9727-0943

rubinav1@mail.ru

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия

Чистова Наталья Геральдовна
д.т.н., профессор

РИНЦ SPIN-код: 1229-5429

chistova_n_g@mail.ru

Красноярский институт железнодорожного транспорта - филиал ИрГУПС, Красноярск, Россия

Дубровская Татьяна Викторовна
к.э.н., доцент

РИНЦ SPIN-код: 4742-1269

tyd2005@mail.ru

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия

Рациональное и эффективное использование природных ресурсов является важным элементом устойчивого развития. Отходы - это значительная потеря материальных и энергетических ресурсов. Переработка и удаление образовавшихся отходов может быть причиной загрязнения окружающей среды и воздействия вредных веществ и инфекционных организмов на людей. Показатель образования отходов тесно связан с уровнем экономической активности в стране и отражает сформировавшиеся в обществе структуры производства и потребления. Сокращение объема образования отходов служит показателем продвижения секторов экономики к менее материалоемким структурам производства и потребления. Отходы растительного происхождения в основном образуются в лесопромышленном комплексе и являются масштабным источником загрязнения окружающей среды. Непрерывное образование и накопление

UDC 692.231.2

Technical sciences

PREPARATION OF LUMPY VEGETABLE WASTE IN PRODUCTION OF MODIFIED BUILDING MATERIAL

Aksyonov Nikita Vyacheslavovich
graduate student

RSCI SPIN-code: 8291-1422

axyonov@mail.ru

Siberian State Aerospace University. academician M. F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

Rubinskaya Anastasia Vladislavovna
Candidate of Engineering Sciences, docent

RSCI SPIN-code: 9727-0943

rubinav1@mail.ru

Siberian State Aerospace University. academician M. F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

Chistova Natalia Heraldovna
Dr.Sci.Tech., Full Professor

RSCI SPIN-code: 1229-5429

chistova_n_g@mail.ru

Krasnoyarsk Institute of Rail Transport Branch of Irkutsk State University of Railway Transport in Krasnoyarsk, Krasnoyarsk, Russia

Dubrovskaya Tatiana Victorovna
Candidate of Economic Sciences, docent

RSCI SPIN-code: 4742-1269

tyd2005@mail.ru

Siberian State Aerospace University. academician M. F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

Rational and efficient use of natural resources is an important element of sustainable development. Waste is a significant loss of material and energy resources. Recycling and disposal of waste can be a cause of pollution, harmful substances and infections on people. Index of waste production is closely linked to the level of economic activity in the country and sums up the structures of production and consumption that are formed in the society. Reduction of capacity size of waste production is a measure of promotion of the economy sector to less material-intensive structures of production and consumption. Phytogenic wastes are mostly formed in the timber industry, and also are pollutant source of environment. Continuing production and accumulation of waste is a serious environmental problem. The main reason for these circumstances involves insufficiency of power in added-value wood processing, that increase the problem of integrated utili-

этих отходов — это серьезнейшая экологическая проблема. Основная причина сложившегося положения дел заключается в недостаточности мощностей по переработке древесины, что усугубляет проблему комплексного использования низкосортной, мелкотоварной древесины и древесных отходов. В результате этого основными конкурентными продуктами в лесном комплексе Красноярского края в настоящее время являются пиломатериалы и круглый лес. Решение актуальной для настоящего времени проблемы оптимального использования образующихся на территории Красноярского края, отходов, необходимо решать с помощью математического моделирования и оптимизации процесса рециклинга кусковых растительных отходов. Рациональное использование кусковых растительных отходов является одной из наиболее серьезных и, к сожалению, пока не решенных проблем

Ключевые слова: РЕЦИКЛИНГ, ТВЕРДЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ, КУСКОВЫЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ

Doi: 10.21515/1990-4665-125-008

zation of low-grade wood, small wood and demolition wood. As a result, the main competitive products in the timber complex of the Krasnoyarsk Territory are industrial wood and roundwood. Solution to these topical issues of optimum use of the resulting waste in the Krasnoyarsk Territory needs to be solved with the help of mathematical modeling of process optimization of recycling lumpy plant waste. Rational use of lump plant waste is one of the most serious and, unfortunately, unresolved problem

Keywords: RECYCLING, INDUSTRIAL SOLID WASTE, LUMPY VEGETABLE WASTE

Переработка вторичных ресурсов имеет социальный, экологический и экономический эффекты, способствующие развитию рынка вторичных материальных ресурсов, экологической безопасности окружающей среды и здоровья человека, экономии природных ресурсов и полезных ископаемых, повышению занятости населения, улучшению условий существования общества и развитию бизнеса в сфере переработки вторичных материальных ресурсов [1]. Рециклинг твердых промышленных отходов в настоящее время развивается. Появляются технологии переработки, разрабатывается и изготавливается серийное оборудование, отрасль в некоторых странах мира получает поддержку на государственном уровне. Научные институты активно проводят исследования в области рециклинга [2, 3]. Одним из направлений является изучение процесса подготовки отходов для дальнейшего рециклинга в строительных материалах, в частности в арболитовых блоках.

Для изучения процесса подготовки кусковых растительных отходов и использования их в производстве строительных материалов, не ухудшая

их качества, спланирован и реализован активный многофакторный эксперимент.

Для построения математической модели процесса и для оценки влияния на процесс каждого учитываемого фактора использован регрессионный анализ – метод, который позволяет устанавливать значение факторов и диапазоны их варьирования по своему усмотрению, согласно технологическому процессу.

В таблице 1 представлена матрица планирования эксперимента с двумя входными факторами по В-плану второго порядка с их нормализованными значениями.

Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента с двумя факторами

| Номер опыта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------|----|----|----|---|----|---|----|---|
| X_1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 0 | 0 |
| X_2 | -1 | -1 | 1 | 1 | 0 | 0 | -1 | 1 |

Регрессионная модель, построенная по результатам экспериментов, позволяет рассчитать значение поверхности отклика в разных точках области варьирования факторов.

Эксперимент проводился на базе лаборатории Лесосибирского филиала «Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева». Исследуемые факторы, их интервалы и уровни варьирования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные факторы и уровни их варьирования

| Наименование фактора | Обозначение | | Интервал варьирования фактора | Уровень варьирования фактора | | |
|----------------------------------|-------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|
| | натуральное | нормализованное | | нижний (-1) | основной (0) | верхний (+1) |
| Процентное содержание отходов, % | <i>C</i> | x1 | 2,5 | 12,5 | 25 | 37,5 |
| Фракционный состав, мм | <i>F</i> | x2 | 10 | 2 | 12 | 22 |

Выходными величинами двухфакторного эксперимента являются – прочность на сжатие – Pr , МПа, и плотность модифицированного арболитового блока – Pl , кг/м³.

Исследования в работе проводились согласно выбранному плану эксперимента – В-плану второго порядка, при всех прочих равных условиях. Результаты активного экспериментального исследования представлены в виде математических моделей исследуемого процесса и функций откликов (рисунок 1, 2) построенных по ним, с целью описания исследуемых зависимостей.

На основании наших экспериментальных исследований [4-12], было установлено методом корреляционного анализа, использование каких промышленных отходов показывает наилучшие показатели по физико-механическим характеристикам готовых арболитовых блоков. В качестве критериев были выбраны коэффициент связеобразования и критериальный параметр качества, которые показали, что использование коры хвойных пород и измельченный полиэтилентерефталат придают арболиту модифицированные свойства.

Обработка экспериментальных данных производилась в пакете программ *STATISTICA*, были получены математические модели, адекватно описывающие исследуемый процесс.

Уравнение прочности на сжатие при использовании коры в арболитовом конгломерате

$$Pr_k = 1,06 - 0,43C - 0,31F - 0,01C^2 - 0,06F^2 + 0,09CF, \quad (1)$$

По полученной модели были построены поверхности отклика в виде зависимости прочности на сжатие и плотности при добавлении коры и полиэтилентерефталата в арболитовый блок, которые представлены на рисунках 1 и 2.

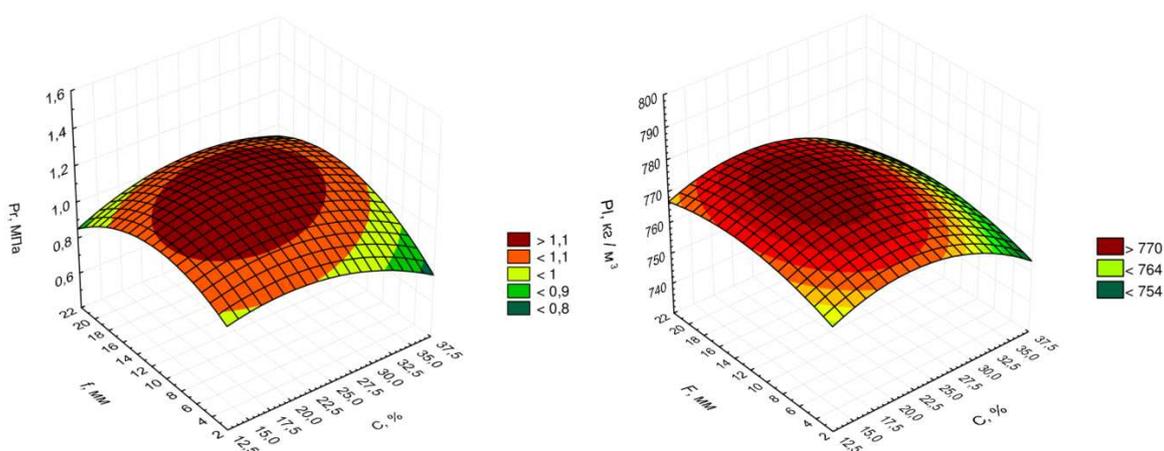


Рисунок 1 - Зависимости прочности на сжатие и плотности при добавлении коры в арболитовый блок

Кора имеет пластинчатую структуру, которая не обеспечивает прочности наполнителя, следовательно, арболитового конгломерата. Слабые молекулярные связи. Все это приводит к снижению прочности с увеличением процентного содержания коры. Кора имеет более худшую влагоудерживающую способность, чем дробленка.

Уравнение плотности арболитового блока при использовании коры в арболитовом конгломерате имеет вид

$$P_k = 792,5 + 31,66C + 23,33F - 7,5C^2 - 22,5F^2 - 10CF, \quad (2)$$

Кора не имеет высокой плотности, поэтому увеличивая процентное содержание замещая древесный наполнитель плотность арболитового конгломерата снижается.

Уравнение прочности на сжатие при использовании полиэтилентерефталата в арболитовом конгломерате

$$Pr_{\pi}=0,66-0,15C-0,295F+0,09C^2+0,14F^2-0,31CF, \quad (3)$$

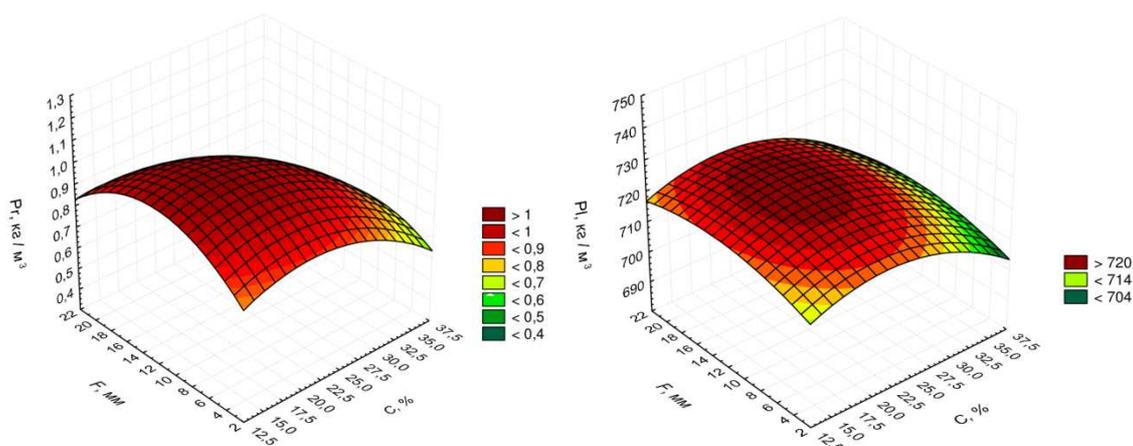


Рисунок 2 - Зависимости прочности на сжатие и плотности при добавлении полиэтилентерефталата в арболитовый блок

Имеет незначительное увеличение прочности с увеличением процентного содержания полиэтилентерефталата связанное со снижением пористости и заполнением межзернового пространства относительно упругим материалом при фракции 12 мм. При увеличении процентного состава в качестве наполнителя происходит снижение прочности на сжатие арболитовых блоков связанное со снижением удельной поверхности взаимодействия, не высокой прочностью используемого нами заменителя наполнителя (используются измельченные бутылки). Арболитовые блоки с использованием полиэтилентерефталата возможно использовать при небольшом процентном содержании в качестве теплоизоляционного со сниженным водопоглощением.

Уравнение плотности арболитового блока при использовании полиэтилентерефталата в арболитовом конгломерате имеет вид

$$Pi_{\pi}=630-34,17C+8,33F+12,5C^2-15F^2-5CF, \quad (4)$$

Полиэтилентерефталат имеет низкую плотность, поэтому увеличивая процентное содержание замещая древесный наполнитель плотность арболитового конгломерата снижается.

Использование такого вида отходов, как кора и полиэтилентерефталат позволят предприятию снизить расходы на экологические платежи, улучшить экологическую обстановку в районе, получить дотации из краевого бюджета, развить рынок материалов для малоэтажного строительства в Ангаро-Енисейском регионе, как следствие удешевление стоимости малоэтажных сооружений, выполнение курса страны в отношении увеличения доли МЖС до 40-60% в регионе.

Таким образом, на предприятиях возможен выпуск строительно-конструкционных и строительно-отделочных материалов, обладающих некоторыми дополнительными свойствами, что позволит повысить производственные мощности предприятий, снизить расход сырья, уменьшить себестоимость при сохранении физико-механических характеристик готовой продукции, расширить рынки сбыта готовой продукции, повысить качество продукции, снизить материальные и энергетические затраты на производство.

Социальный эффект от создания новых высокопроизводительных технологий и совершенствования процессов по использованию отходов заключается в ускорении сроков цикла обращения с отходами, что сокращает время вредного воздействия на человека и экологию окружающей среды. Данный эффект может быть выражен в натуральных временных показателях, например, сутках, и рассматриваться как дополнительный показатель при оценке эффективности различных вариантов использования вторичных ресурсов. Происходит уменьшение расходов населения на медицинские услуги вследствие улучшения экологической обстановки и условий проживания в регионе, снижение социальной и криминогенной напряженности в регионе за счет упорядочения деятельности населения и пред-

приятий, занятых в сфере обращения с отходами. Эстетический, психологический и моральный эффекты от улучшения экологической обстановки в регионе, а также от предотвращения вымирания каких-либо видов растений и животных, конечно, присутствует. Однако, определить его в стоимостных показателях на современном этапе развития экономической науки, как отмечалось, не представляется возможным.

Разработка и внедрение программы по комплексному использованию вторичных ресурсов будет способствовать решению экономических, экологических, научно-технических и социальных задач по снижению затрат на производство материальных ресурсов для нужд региона, сокращению времени и сложности цикла по переработке отходов, созданию региональных центров по комплексной переработке отходов, уменьшению вредных выбросов в атмосферу, почву, воду, а также снижению затрат на проведение природоохранных мероприятий.

Реализация в регионе рециклинга вторичных ресурсов создаст условия для минимизации объемов размещения отходов, сокращения бюджетного финансирования, вовлечение отходов в качестве материальных ресурсов в хозяйственный оборот, использование свободных мощностей и площадей промышленных предприятий региона для подготовки отходов с целью их дальнейшего использования в качестве вторичного сырья, создания новых рабочих мест, повышения эффективности производственно-хозяйственной деятельности перерабатывающих предприятий, производства новых материалов и продукции для нужд региона и промышленного комплекса, улучшения экологической ситуации в регионе. Стратегическую эффективность от использования вторичных ресурсов необходимо рассматривать в качестве фактора, определяющего устойчивое развитие в масштабах страны, региона и предприятий по переработке, использованию и утилизации вторичных ресурсов за счет сохранения природных ресурсов,

улучшения экологического баланса, повышения эффективности производства и создания социальноактивной благоприятной обстановки.

Список литературы

1. Петрова А. И. Организация системы авторециклинга на мезологистическом уровне // Экономика и современный менеджмент: теория и практика: сб. ст. по матер. X междунар. науч.-практ. конф. Часть I. – Новосибирск: Сибак, 2012.
2. Макаров А. В., Володькин П. П. Математическое моделирование системы авторециклинга с учетом оптимизации логистических процессов Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ» 2013, Том 4, № 4, С. 1369 – 1374
3. Петрова А.И. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОРЕЦИКЛИНГА И ПРОБЛЕМЫ ЛОГИСТИКИ Вестник Самарского государственного экономического университета, 2010, 10 (72), С. 84-89
4. Чистова Н.Г., Рубинская А.В., Казаков Е.А., Шинкевич И.В., Матыгулина В.Н. Анализ образования твердых промышленных отходов и возможность их рециклинга Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2016. № 10. С. 145-150.
5. Кожевников А.К., Аксёнов Н.В., Чистова Н.Г., Рубинская А.В. Образование твердых промышленных отходов и их рециклинг в лесном комплексе В мире научных открытий. 2015. № 8 (68). С. 75-85.
6. Безруких Ю.А., Рубинская А.В., Мезенцева Н.В. Пути рационального использования древесных ресурсов в рамках комплексного использования древесной биомассы Международные научные исследования. 2015. № 3 (24). С. 55-58.
7. Рубинская А.В., Чистова Н.Г., Зырянов М.А. Экологическая оценка получения модифицированного строительного материала на основе древесины Научные труды sworld. 2015. Т. 6. № 1 (38). С. 22-27.
8. Kozhevnikov A.K., Aksenov N.V., Rubinskaya A.V., Sedrisev D.N. Monitoring formation of solid industrial waste and its recycling in a forest complex Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 2-1. С. 72-74.
9. Полищук А.И., Рубинская А.В., Трофимук В.Н., Чистова Н.Г. Производство арболита как одно из перспективных направлений комплексной переработки древесины Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. № 32. С. 108-110.
10. Полищук А.И., Рубинская А.В. Технология изготовления арболитовых блоков на основе вспученного вермикулита Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. № 34. С. 70-71.
11. Полищук А.И., Рубинская А.В., Трофимук В.Н., Чистова Н.Г. Техно-экономические показатели производства и применения арболитовых изделий Экономика и эффективность организации производства. 2012. № 16. С. 123-127.
12. Полищук А.И., Рубинская А.В. Экономическое обоснование использования арболита в строительстве Экономика и эффективность организации производства. 2012. № 17. С. 81-83.

References

1. Petrova A. I. Organizatsiya sistemyi avtoretsiklinga na mezologisticheskom urovne // Ekonomika i sovremennyiy menedzhment: teoriya i praktika: sb. st. po mater. X mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Chast I. – Novosibirsk: Sibak, 2012.

2. Makarov A. V., Volodkin P. P. Matematicheskoe modelirovanie sistemyi avtoretsiklinga s uchet om optimizatsii logisticheskikh protsessov Elektronnoe nauch-noe izdanie «Uchenye zametki TOGU» 2013, Tom 4, # 4, S. 1369 – 1374
3. Petrova A.I. ORGANIZATSIYA SISTEMYi AVTORETsIKLINGA I PROBLEMYi LOGISTIKI Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta, 2010, 10 (72), S. 84-89
4. Chistova N.G., Rubinskaya A.V., Kazakov E.A., Shinkevich I.V., Matyigulina V.N. Analiz obrazovaniya tverdyih promyshlennyih othodov i vozmozhnost ih retsiklinga Sborniki konferentsiy NITs Sotsiosfera. 2016. # 10. S. 145-150.
5. Kozhevnikov A.K., AksYonov N.V., Chistova N.G., Rubinskaya A.V. Obrazovanie tverdyih promyshlennyih othodov i ih retsikling v lesnom komplekse V mire nauchnyih otrkryitiy. 2015. # 8 (68). S. 75-85.
6. Bezrukih Yu.A., Rubinskaya A.V., Mezentseva N.V. Puti ratsionalnogo ispolzovaniya drevesnyih resursov v ramkah kompleksnogo ispolzovaniya drevesnoy biomassyi Mezhdunarodnyie nauchnyie issledovaniya. 2015. # 3 (24). S. 55-58.
7. Rubinskaya A.V., Chistova N.G., Zyryanov M.A. Ekologicheskaya otsenka polucheniya modifitsirovannogo stroitel'nogo materiala na osnove drevesinyi Nauchnyie trudyi sworld. 2015. T. 6. # 1 (38). S. 22-27.
8. Kozhevnikov A.K., Aksenov N.V., Rubinskaya A.V., Sedrisev D.N. Monitoring formation of solid industrial waste and its recycling in a forest complex Mezhdunarodnyiy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. 2014. # 2-1. S. 72-74.
9. Polischuk A.I., Rubinskaya A.V., Trofimuk V.N., Chistova N.G. Proizvodstvo arbolita kak odno iz perspektivnyih napravleniy kompleksnoy pererabotki drevesinyi Aktualnyie problemyi lesnogo kompleksa. 2012. # 32. S. 108-110.
10. Polischuk A.I., Rubinskaya A.V. Tehnologiya izgotovleniya arbolitovyih blokov na osnove vspuchennogo vermikulita Aktualnyie problemyi lesnogo kompleksa. 2012. # 34. S. 70-71.
11. Polischuk A.I., Rubinskaya A.V., Trofimuk V.N., Chistova N.G. Tehniko-ekonomicheskie pokazateli proizvodstva i primeneniya arbolitovyih izdeliy Ekonomika i effektivnost organizatsii proizvodstva. 2012. # 16. S. 123-127.
12. Polischuk A.I., Rubinskaya A.V. Ekonomicheskoe obosnovanie ispolzovaniya arbolita v stroitelstve Ekonomika i effektivnost organizatsii proizvodstva. 2012. # 17. S. 81-83.