УДК 656.213

А. І. КУЗЬМЕНКО[1*], Є. Д. КОМАРОВ[1*]

[1*] Каф. «Транспортні системи та технології», Університет митної справи та фінансів, вул. Вернадського, 2/4, м. Дніпро, Україна, 49044, тел. +38 (0562) 46-96-98, ел. пошта alia1971@i.ua , ORCID 0000-0001-7278-3647
[2*] Магістрант, Університет митної справи та фінансів, вул. Вернадського, 2/4, Дніпро, Україна, 49044, тел. +38 (0562) 46-96-98, ел. пошта sopwer22@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ПІДСТАВІ РЕВЕРСИВНОЇ ЛОГІСТИКИ

Метою дослідження є аналіз процесів, які виникають під час переробки відходів сільського господарства та пошук оптимальних маршрутів доставки вторинної сировини до місць переробки. Об'єктом дослідження виступають джерела утворення відходів, термінали збереження, підприємства з переробки та транспортні зв'язки між ними; предметом дослідження – технологія перевезення відходів та процеси обробки вторинної сировини. **Методика дослідження** базується на використанні реверсивної логістики та векторної оптимізації. **Результатами дослідження** є аналітична оцінка останніх відомих методів та методик поводження з відходами, яка свідчить про відсутність комплексного підходу щодо удосконалення технології переробки вторинної сировини. Запропонована у роботі технологія враховує взаємну залежність таких критеріїв оптимізації, як час та вартість транспортування, а також їх залежність від структури та обсягів відходів та переробленої продукції, відстані транспортування. Формалізація технологічного процесу переробки відходів виконувалась наступним чином. Були відокремлені такі елементи: сільськогосподарські підприємства (джерела утворення відходів); збір та переробка відходів шляхом утворення технічного масла; зберігання масла на терміналах; повторна переробка; виробництво оліфи на лакофарбових підприємствах; транспортне забезпечення на усіх етапах. Описані відповідні технологічні процеси та накладені певні обмеження. Складено граф станів системи переробки відходів та виконане математичне моделювання. Виконано кількісну оцінку собівартості окремих елементів моделі на прикладі певного району території України. У результаті була побудована діаграма розподілу собівартості за видами діяльності з відходами сільськогосподарського виробництва, аналіз якої може бути корисним для пошуку можливих рішень зниження витрат. **Наукова новизна** полягає в теоретичному обґрунтуванні процесів переробки вторинної сировини. При цьому формалізовано та вирішено з використанням методів реверсивної логістики та векторної оптимізації завдання щодо визначення факторів, які впливають на собівартість та експлуатаційні витрати під час транспортування відходів. Розроблено математичну модель для дослідження процесів поводження з вторинною сировиною, що дозволяє вирішувати задачі раціонального використання наявних матеріальних та фінансових ресурсів з мінімальною собівартістю перевезень. **Практична значимість** даної роботи полягає у тому, що запропонована математична модель процесів поводження з вторинною сировиною дозволяє визначити фактори та причини, що впливають на собівартість усіх її елементів та знизити відповідні витрати.

Ключові слова: реверсивна логістика, вторинні ресурси, процес переробки, собівартість транспортування.

Вступ

У даний час в країнах Європейського союзу і США створена і успішно функціонує система зворотних потоків, яка включає в себе не тільки відходи, а також вторинні ресурси. Дана система спрямована на мінімізацію утворення відходів шляхом повторного залучення товарно-матеріальних цінностей в процес виробництва. В Україні ж ця проблема вирішується найчастіше шляхом захоронення або знищення. Варто відзначити, що діяльність з вилучення або з переробки вторинних ресурсів практично не регулюється державою. Це пов'язано з тим, що діяльність держави в галузі охорони навколишнього середовища орієнтована на «каральні» заходи, спрямовані на відшкодування шкоди від уже зробленого впливу на навколишнє середовище. Таким чином, актуальним є питання створення в Україні системи регульованої переробки вторинних ресурсів та розробки раціональних маршрутів обслуговування такої системи автомобільним транспортом.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями

Традиційно процес руху відходів не розглядається як процес реверсивної логістики, так як вважається, що діяльність щодо поводження з відходами не залежить безпосередньо від сфери

doi: https://doi.org/10.15802/tstt2017/123173 © Кузьменко А. І., Комаров Є. Д. 2017

розподілу і виробництва. Для того, щоб зрозуміти взаємозв'язок діяльності поводження з відходами із зворотною логістикою, необхідно розглянути основні варіанти управління потоками товарно-матеріальних цінностей.

З огляду порівняно невеликих відстаней та обсягів перевезень, автомобільний транспорт є найбільш сприятливим для перевезень відходів (вторинної сировини) та готової продукції.

Незважаючи на велику увагу, що приділяється останнім часом питанням реверсивної логістики у вітчизняних виданнях, жодне з них, на відміну від зарубіжних видань, не розглядає можливість побудови математичних моделей та оцінки управління зворотними потоками в сфері твердих побутових відходів.

У зв’язку з цим постає проблема поводження з відходами виробництва, а моделювання раціональних маршрутів їх перевезення автомобільним транспортом є актуальним науковим завданням, щільно пов’язаним з важливими практичними завданнями зниження обсягів захоронення відходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У даний час проблема логістичних зворотних потоків в Україні представлена невеликою кількістю наукових публікацій, основною тематикою яких є висвітлення питань повернень товарів, внаслідок чого залишається недостатньо висвітленою проблема організації повернення вторинних ресурсів у сферу виробництва в цілому.

Необхідно зазначити, що у зарубіжній та вітчизняній літературі застосовують різні синонімічні терміни для визначення близьких за змістом понять, а саме: реверсивна логістика та зворотна логістика. Сучасний етап теоретичних та прикладних розробок у сфері реверсивної логістики пов’язаний із формуванням концепції логістичного управління на основі ланцюга поставок.

Розкриттю питань розбудови методології реверсивної логістики присвячені праці провідних вітчизняних та зарубіжних учених, серед яких: Сагайдак-Никитюк Р. В., Ларіна Р., Смирнов І. Г., Букринська Є. М., Григорак М. Ю., Посилкіна О. В., Сергєєв В., Анікін Б., Гаджинський А., Бауерсокс Д., Беккер Й., Сток Д., Хескетт Дж., Поллок Б..

Наприклад у статті [1] Сагайдак-Никитюк Р. В. запропонувала розрахунок гранично допустимого обсягу переробки відходів, але не врахувала собівартість на перевезення різних видів відходів діяльності.

У роботі Деккера Р. [2] представлена економетрична модель зворотної логістики, але дана модель не охоплює усі елементи, що притаманні повному циклу реверсивної логістики.

У науковій праці [3] Григорак М.Ю. розкриває характеристики елементів реверсивної логістики, але не надає практичних механізмів реалізації зворотної логістики на підприємствах та розрахунку собівартості для повного циклу.

У статті [4] досліджено основні чинники, які гальмують процес вантажних перевезень. Суть управління процесом доставки вантажу, визначена, як проблема координації функціонування транспортного комплексу в умовах нечіткості та неповної інформаційної визначеності, а вирішення цієї складної багатофакторної проблеми пропонується здійснювати, використовуючи методологію концептуально-логічного відображення та проектного моделювання транспортних систем. За основу взятий метод складання контрольно-часових точок, але він дозволяє встановити графікові точки знаходження вантажу на шляху прямування тільки на залізниці та на місцях стикування з іншими видами транспорту, та не розглядає суто автомобільні перевезення.

Аналізуючи результати останніх досліджень в області управліннями відходами, можна зазначити, що більшість з викладених у них ідей залишаються тільки проектами, які не використовуються в практичній діяльності. Це пов'язано з тим, що, по-перше, розробляються дані проекти без урахування впливу зовнішніх факторів, а, по-друге, орієнтовані на отримання прибутку [5]. Подібний погляд на суть зворотних потоків суперечить основній ідеї реверсивної логістики – знизити втрати від повернень. Відносно вторинних ресурсів дана проблема ускладнюється ще й тим, що процес їх обробки є прибутковим тільки для декількох видів таких ресурсів, тобто при цьому не вирішується завдання зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище [6].

Метою даної статті є аналіз процесів, які виникають під час переробки відходів сільського господарства та розробка математичної моделі цих процесів, яка дозволить визначити фактори і причини, що впливають на собівартість усіх її елементів, обирати раціональні маршрути доставки вторинної сировини до місць переробки та знизити відповідні витрати.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені наступні завдання: виконано аналітичну оцінку останніх відомих

методів та методик поводження з відходами; запропоновано технологію, що враховує залежність транспортування від структури та обсягів відходів та переробленої продукції; формалізовано технологічний процес переробки відходів; виконано математичне моделювання; написаний код програми на мові Fortran; розраховано собівартість окремих елементів моделі на прикладі певного району території України. Об'єктом дослідження виступають джерела утворення відходів (сільськогосподарські підприємства), термінали збереження, підприємства з переробки та транспортні зв'язки між ними; предметом дослідження – технологія перевезення та процеси обробки вторинної сировини.

Основна частина дослідження

У даній роботі запропоновано вирішення проблеми пошуку оптимального варіанту доставки відходів автомобільним транспортом на прикладі діяльності з відходами сільськогосподарського виробництва.

Аналіз статистичних даних розподілу відходів сільськогосподарського виробництва з вирощування найбільш поширених рослин (див. рис. 1) дозволив стверджувати, що найбільша частка відходів перепадає на олійні та зернові культури. Це ті види відходів, які можна повторно переробляти.

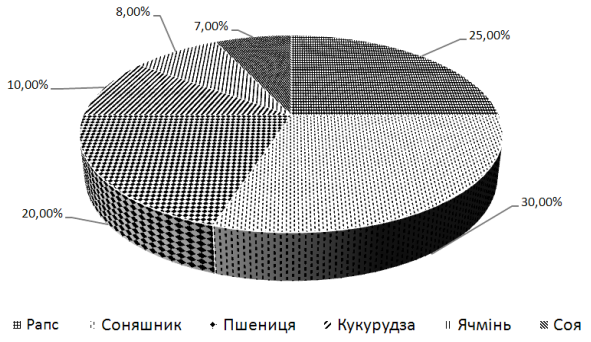


Рис. 1. Діаграма розподілу сільськогосподарських відходів

Динаміка обсягу обігу сільськогосподарських культур та відходів на Україні за 2013-2016 роки представлена на рис. 2.

Аналіз гістограми 2 свідчить про те, що, у зв'язку з підвищенням врожайності та виробництва сільськогосподарських культур, кількість щорічних обсягів відходів має стійку тенденцію до зростання, але об'єми переробки відходів залишаються на низькому рівні.

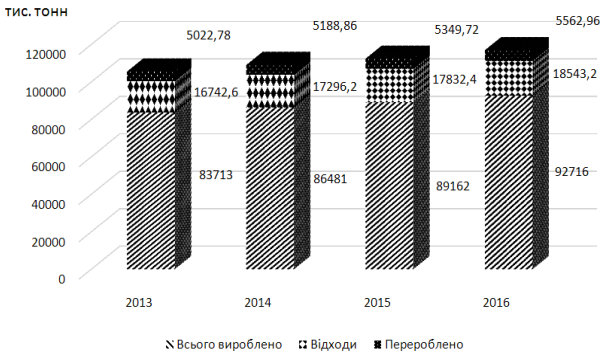


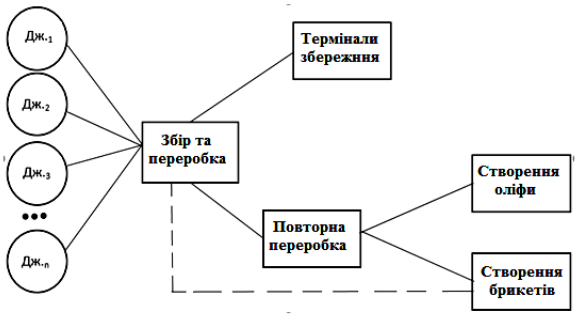
Рис. 2. Гістограма динаміки обсягу обігу сільськогосподарських культур та відходів на Україні

Транспортна мережа маршрутів перевезення сільськогосподарської сировини для виготовлення рапсової олії на склад виробника розглядалася авторами раніше у роботі [7]. Предметом дослідження виступала методика побудови автомобільних маршрутів доставки сировини. Були виконані дослідження способів побудови маршрутів, у тому числі з використанням методу кластерного аналізу, та запропоновано методику пошуку раціонального автомобільного маршруту. За критерій оптимальності було обрано мінімальний час доставки партії вантажу автомобільним транспортом. Але дана наукова задача не розглядалася з точки зору організації зворотних потоків.

У даній роботі з метою дослідження усіх елементів процесу переробки відходів сільськогосподарського виробництва запропоновано відповідну модель, що базується на використанні методів реверсивної логістики. Елементи даної моделі відображено на рис. 3. Кожен з цих елементів відповідає конкретному виду діяльності. До елементів моделі належать наступні процеси: діяльність сільськогосподарських підприємств (джерел утворення відходів); збір та переробка відходів шляхом утворення технічного масла; зберігання масла на терміналах у містах та морських портах; повторна переробка; створення оліфи на лакофарбових підприємствах (створення екологічних енергоносіїв шляхом брикетування тощо).

Для уточнення та формалізації математичної моделі було зроблено ряд допущень:

– згідно закону України «Про відходи» тарифна ставка перевезення визначається на місцевому рівні, тому було прийнято рішення, що в даній математичній моделі тарифна ставка є єдиною;



Умовні позначення:

Дж$_n$ – *n*-не сільськогосподарське підприємство (джерело утворення відходів);

——— – процес перевезення відходів;

▭ – діяльність, пов'язана з відходами;

– – – – зворотний процес доставки відходів, готових до повторного використання.

Рис. 3. Модель системи реверсивної логістики з переробки сільськогосподарських відходів

– коефіцієнт перевезення є єдиними для усіх видів перевезення та включає в себе: витрати на амортизацію, зарплати водіїв, частоту та кількість заправки паливом, а також технічно-експлуатаційних показників [8];

– мережева конфігурація зворотної логістичної системи включає в себе географічні характеристики, пов'язані з вищезгаданими видами діяльності, та їх можливості з точки зору конкретних функцій, які вони забезпечують в зворотній логістичній системі [9];

– витрати на внутрішнє поширення ігноруються. Відповідно, при розробці моделі, враховуються тільки вхідні транспортні витрати для відходів та вартість вихідного транспорту для діяльності щодо повторного використання. В цілому, витрати на розподіл внутрішньогосподарських відходів відносно невеликі у порівнянні з іншими статтями витрат у зворотній системі логістики, і, таким чином, вони виключаються з запропонованої функції оцінки витрат для полегшення формулювання моделі [10];

– функція зберігання спеціально призначена для необроблених відходів зібраних з джерел відходів за винятком оброблених відходів;

– у якості джерел виробництва виступають сільськогосподарські підприємства, що знаходяться на невеликій відстані від міст, вони також є операторами, що використовують продукти рециклінгу [11].

Отже, процеси переміщення та обробки вторинної сировини в фізичній моделі переробки відходів можна описати наступним чином:

1) формування партій відходів для подальшої переробки на сільськогосподарських підприємствах;

2) процес транспортування до заводів або цехів первинної обробки в залежності від виду відходів;

3) операції з первинної обробки відходів, отримання вторинної сировини та доставка на термінали відправлення (збереження);

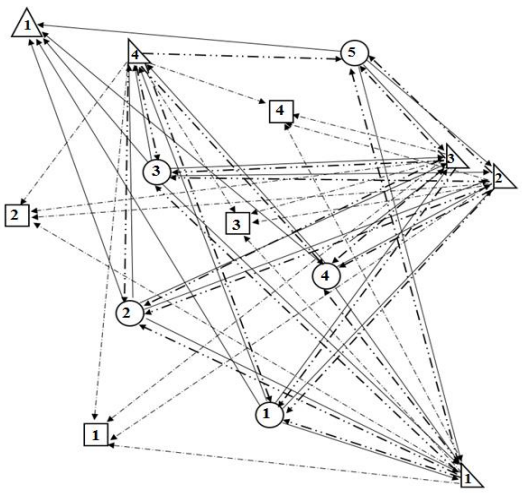
4) доставка вторинної сировини (технічного масла) від терміналів збереження або відправлення до місць подальшої переробки (лакофарбових підприємств);

5) виробництво готової продукції з вторинної сировини;

6) доставка отриманої продукції переробки відходів сільськогосподарських підприємств до споживача (в торгівельну мережу).

Запропонована у роботі технологія враховує взаємну залежність таких критеріїв оптимізації, як час та вартість транспортування, а також їх залежність від структури та обсягів відходів та перероблеої продукції, відстані транспортування.

Наведений нижче граф станів системи переробки відходів (див. рис. 4) наочно відображає перераховані вище процеси та відображає схему поводження з відходами для п'ятьох сільськогосподарських підприємств (джерел), одного терміналу збереження, чотирьох заводів (цехів) з переробки відходів та п'яти лакофарбових підприємств з виробництва оліфи (твердопаливних екологічних брикетів) [12].



Умовні позначення:

△ – джерело відходів;

△ – термінал збереження;

□ – завод (цех) з переробки відходів;

○ – лакофарбове підприємство.

Рис. 4. Граф станів системи переробки відходів

Відповідно вищезазначених допущень на підставі методів реверсивної логістики [13] та векторної оптимізації було розроблено математичну модель транспортного забезпечення про-

цесів обробки відходів сільськогосподарських підприємств з метою визначення факторів, що впливають на собівартість та експлуатаційні витрати, що мають місце під час перевезення відходів, вторинної сировини та виготовленої з неї продукції. Лінійна цільова функція моделі націлена на пошук можливих шляхів зниження витрат та має наступний вигляд:

$$\sum_{1}^{a}\sum_{1}^{b} l_{ab}\cdot t\cdot p\cdot m_b + d_b\cdot m_b + \sum_{1}^{f}\sum_{1}^{n}\sum_{1}^{a} l_{afn}\cdot t\cdot p\cdot m_n + \\ + \sum_{1}^{i}\sum_{1}^{g}\sum_{1}^{f} c_f\cdot(h\cdot m_i + j\cdot m_g) + \sum_{1}^{g}\sum_{1}^{k}\sum_{1}^{f} l_{kfg}\cdot t\cdot p\cdot m_g + \\ \sum_{1}^{+i}\sum_{1}^{a}\sum_{1}^{f} l_{fai}\cdot t\cdot p\cdot m_i \to min, \quad (1)$$

де a – кількість джерел відходів, од.;

b – кількість видів відходів, шт.;

l_{ab} – відстань від a-го джерела з b-м видом відходів до заводів первинної переробки, км;

t – тарифна ставка з перевезення відходів, грн/км;

p – коефіцієнт перевезення;

m_b – вага b-го виду відходів, т;

d_b – питома вартість обробки b-го виду відходів, грн/т;

f – кількість заводів (цехів) з вторинної переробки відходів, од.;

n – кількість видів отриманої для подальшої переробки вторинної сировини;

l_{afn} – відстань від a-го джерела до f-го заводу з n-ним видом відходів на вторинну переробку та до терміналів збереження, км;

m_n – вага n-го виду вторинної сировини, т;

c_f – питомі витрати на зберігання вторинної сировини на f-му заводі, грн/т;

h – питомі витрати на переробку вторинної сировини, грн/т;

i – кількість видів вторинної сировини для подальшої переробки, шт.;

g – кількість видів масел для лакофарбових підприємств, шт.;

m_i – вага i-го виду масел, т;

m_g – вага g-го виду масел, т;

j – питомі витрати на обробку масел для відправки на лакофарбові підприємства, грн/т;

h – питомі витрати на переробку масел для виробництва оліфи на лакофарбових підприємствах, грн/т;

k – кількість лакофарбових підприємств, од.;

l_{fkg} – відстань від f-го заводу до k-лакофарбового підприємства з g-им видом масла, км;

l_{fai} – відстань від f-го заводу до a-го джерела з i-им видом оліфи, км;

m_i – вага i-го виду оліфи, т.

У даній роботі було виконано кількісну оцінку собівартості окремих елементів запропонованої моделі на прикладі певного району території України (див. рис. 5). Числові вихідні дані були взяті за результатами обробки статистичних даних діяльності сільськогосподарських підприємств за 2016 рік.

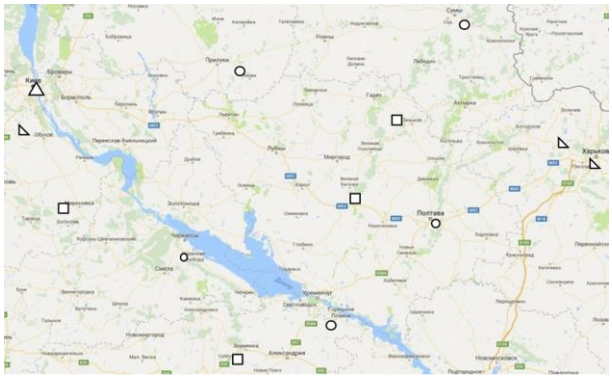


Рис. 5. Район території України з визначеними точками процесу обробки та транспортування відходів і вторинної сировини

З метою реалізації роботи моделі було розроблено код програми на мові Fortran:

```
      program reverse
      implicit none
      integer, parameter :: a=5, b=3, f=4, n=4, i=2,
g=2, k=4
      integer                                L1(a,b),
m1(b),d1(b),L2(a,f,n),m2(n),m3(i),m4(g),c(f),L3(f,
g,k),d2(g),L4(a,f,i)
     integer q,w,e,r,z,x
     real t,p,v1,v2,v3,v4,v5,h,j,v
      write (*,100) "enter t="
  100  format (A,\)
           read (*,*) t
                write (*,100), "enter p="
                 read *, p
                  write (*,100) "enter h="
                       read (*,*) h
                       write (*,100) "enter j="
                            read *, j
 v1=0
    do q=1,a
      do w=1,b
           write (*,*) "enter Lab(",q,w,")"
            read *, L1(a,b)
             write (*,*) "enter mb(",w,")"
              read *, m1(b)
               write (*,*) "enter db=(",w,")"
                     read *, d1(b)
```

```
v1=v1+L1(a,b)*t*p*m1(b)+d1(b)*m1(b)
      enddo
    enddo
  write (*,*) v1

v2=0
   do q=1,a
      do e=1,f
         do r=1,n
            write (*,*) "enter Lafn(",q,e,r,")"
            read *, L2(a,f,n)
            write (*,*) "enter mn(",r,")"
            read *, m2(n)
   v2=v2+L2(a,f,n)*t*p*m2(n)
         enddo
      enddo
   enddo
   write (*,*) v2

v3=0
   do e=1,f
      do z=1,i
         do x=1,g
        write (*,*) "enter cf(",e,")"
        read *, c(f)
            write (*,*) "enter mi(",z,")"
              read *, m3(i)
             write (*,*) "enter mg(",x,")"
                   read *, m4(g)
   v3=v3+c(f)*(h*m3(i)+j*m4(g))
         enddo
      enddo
   enddo
  write (*,*) v3

v4=0
   do e=1,f
      do z=1,g
         do x=1,k
       write (*,*) "enter Lfkg(",e,z,x,")"
            read *, L3(f,k,g)
            write (*,*) "enter dg(",z,")"
                  read *, d2(g)
   v4=v4+L3(f,k,g)*t*p*m4(g)+d2(g)*m4(g)
         enddo
      enddo
   enddo
  write (*,*) v4

v5=0
   do q=1,a
      do e=1,f
         do z=1,i
       write (*,*) "enter L(",q,e,z,")"
            read *, L4(a,f,i)
      v5=v5+L4(a,f,i)*t*p*m3(i)
         enddo
      enddo
   enddo
    write (*,*) v5
  write (*,*)
  write (*,*)
    v=v1+v2+v3+v4+v5
    write (*,*) "Zagalna sobivartsist =" , v
     end program reverse
```

Результати роботи програми з розрахунку собівартості перевезення відходів та вторинної сировини наведені на рис. 6.

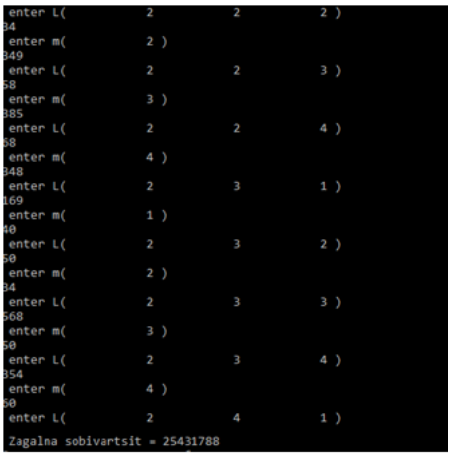


Рис. 6. Результати розрахунку програми на мові Fortran

Як видно з рис. 6, загальна собівартість доставки вторинної сировини на досліджуваній території склала 25 431 788 грн/рік.

Далі був визначений розподіл собівартості в залежності від виду діяльності з обробки відходів сільськогосподарських підприємств.

У результаті була побудована діаграма розподілу собівартості автомобільних перевезень сировини, напівфабрикатів та фабрикатів в залежності від видів діяльності з відходами сільськогосподарського виробництва. Дана діаграма показана на рис. 7.

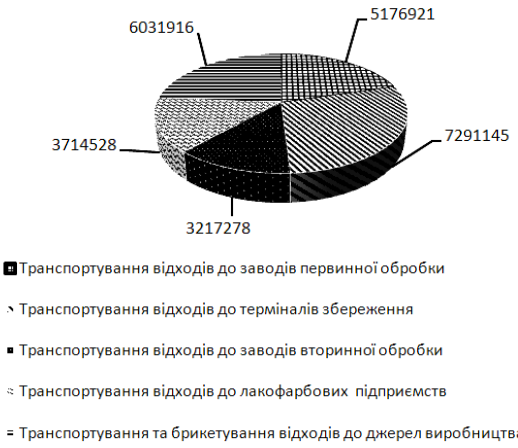


Рис. 7. Діаграма розподілу собівартості вантажних автомобільних перевезень на різних етапах обробки вторинної сировини

Як видно з даної діаграми, найбільше значення собівартості має транспортування відходів до терміналів збереження. Тобто можна прийняти рішення про те, щоб побудувати ще один термінал збереження на у досліджуваному районі, або відмовитись від даного елементу моделі, розширивши складські площі в пунктах переробки вторинної сировини. Аналіз отриманих результатів може бути корисним для пошуку можливих рішень із зниження витрат.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

Таким чином можна констатувати, що аналітична оцінка останніх відомих методів та методик поводження з відходами свідчить про відсутність комплексного підходу щодо удосконалення технології переробки вторинної сировини.

Теоретичне обґрунтування процесів переробки вторинної сировини полягає у формалізації та вирішенні з використанням методів реверсивної логістики та векторної оптимізації завдання щодо визначення факторів, які впливають на собівартість і експлуатаційні витрати під час транспортування відходів. Для цього було побудовано математичну модель транспортного забезпечення процесів поводження з вторинною сировиною, розроблено код програми на мові Fortran. Виконано кількісну оцінку собівартості окремих елементів моделі на прикладі певного району території України. У результаті була побудована діаграма розподілу собівартості за видами діяльності з відходами сільськогосподарського виробництва, аналіз якої може бути корисним для пошуку можливих шляхів зниження витрат.

Подальші дослідження можуть бути націлені на розвиток моделі поводження з відходами з метою вирішення основних завдань реверсивної логістики: витяг з потоку відходів вторинних ресурсів (потенційно придатних до переробки відходів), пошук можливостей їх збуту з метою зниження обсягів захоронення відходів та підвищення ефективності процесів транспортування вторинних ресурсів автомобільним транспортом.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сагайдак-Никитюк, Р. В. Внедрение реверсивной логистики в условиях фармацевтического производства / Р. В. Сагайдак-Никитюк // Ремедіум – 2008. – № 5. – С. 38-40.

2. Dekker, R. Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains / R. Dekker // Springer Verag. – 2003. – Vol. 26. – P. 461-467.

3. Григорак, М. Ю. Теоретичні засади реверсивної логістики / М. Ю. Григорак, Ю. М. Чичкан-Хліповка // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2007. – № 580. – С. 36-42.

4. Кириченко, Г. І. Моделювання сценаріїв переміщення вантажів у ланцюгах доставки / Г. І. Кириченко, О. Г. Стрелко, Ю. А. Бердниченко, О. В. Петриковець, О. А. Кириченко // Транспортні системи та технології перевезень. – 2016. – № 12. – С. 32-37. Doi : https://doi.org/10.15802/tstt2016/85882

5. Prahinski, C. Empirical research opportunities in reverse logistics chains / C. Prahinski // International journal of Management Science. Issue 6 – 2005. – Vol. 34. – P. 46-47.

6. Rogers, D. Towards an understanding of Supply Chain Quality Management / D. Rogers // Journal of Business Logistics No.2. – 2001. – Vol. 22. – P. 68-74.

7. Кузьменко, А. І. Оптимізація маршрутів доставки вантажів на підставі кластерного аналізу / А. І. Кузьменко // Вісник Академії митної служби України. Серія «Технічні науки». – 2014. – № 2(52). – С. 96-103.

8. Федулова, Л. І. Аналіз процесу управління матеріальними та інформаційними потоками промислових підприємств / Л. І. Федулова // Формування ринкових відносин в Україні. – 2002. – Вип. 17. – С. 57-60.

9. Фролова, Л. В. Логістичне управління підприємством : навч. посіб. / Л. В. Фролова – Донецьк : вид-во ДонДУЕТ, 2004. – 161 с.

10. Букринская, Е. М. Реверсивная логистика : уч. пособ. / Е. М. Букринская – СПб.: изд-во СПб ГУЄФ, 2010. – 79 с.

11. Pollock W. K., Dutta S. Driving Returns in the Reverse Logistics Service / W. K. Pollock, S. Dutta // Reverse Logistics Magazine. – 2008. – Edition 16. – P. 26-29.

12. Guid, J. R., Pittsburg, P. A. Business Aspects of Close-Loop Supply Chains / J. R. Guid, P. A. Pittsburg // Carnegie Mellon University Press. – 2003. – Vol. 12. – P. 86-93.

13. Pollock, W.K. 10 Rules for Successful Reverse Logistics Operations / W. K. Pollock // Reverse Logistics magazine. – 2008. – Edition 17. – P. 51-58.

Стаття рекомендована до публікації д.физ.-мат.н., проф. Пасічником А. М. (Україна)

Надійшла до редколегії 24.11.2017.

Прийнята до друку 25.11.2017.

А. И. КУЗЬМЕНКО, Е. Д. КОМАРОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ РЕВЕРСИВНОЙ ЛОГИСТИКИ

Целью исследования является анализ процессов, которые возникают при переработке отходов сельского

хозяйства и поиск оптимальных маршрутов доставки вторичного сырья к местам переработки. Объектом исследования выступают источники образования отходов, терминалы хранения, предприятия по переработке и транспортные связи между ними; предметом исследования – технология перевозки отходов и процессы обработки вторичного сырья. **Методика исследования** базируется на использовании реверсивной логистики и векторной оптимизации. **Результатами исследования** является аналитическая оценка последних известных методов и методик обращения с отходами, которая свидетельствует об отсутствии комплексного подхода к совершенствованию технологии переработки вторичного сырья. Предложенная в работе технология учитывает взаимную зависимость таких критериев оптимизации, как время и стоимость транспортировки, а также их зависимость от структуры и объемов отходов и переработанной продукции, расстояния транспортировки. Формализация технологического процесса переработки отходов осуществлялась следующим образом. Были выделены следующие элементы: сельскохозяйственные предприятия (источники образования отходов); сбор и переработка отходов путем образования технического масла; хранения масла на терминалах; повторная переработка; производство олифы на лакокрасочных предприятиях; транспортное обеспечение на всех этапах. Описаны соответствующие технологические процессы и наложены определенные ограничения. Составлен граф состояний системы переработки отходов и выполнено математическое моделирование. Выполнена количественная оценка себестоимости отдельных элементов модели на примере определенного района территории Украины. В результате была построена диаграмма распределения себестоимости по видам деятельности с отходами сельскохозяйственного производства, анализ которой может быть полезным для поиска возможных решений снижения затрат. **Научная новизна** заключается в теоретическом обосновании процессов переработки вторичного сырья. При этом формализована и решена с использованием методов реверсивной логистики и векторной оптимизации задача по определению факторов, влияющих на себестоимость и затраты при транспортировке отходов. Разработанная математическая модель для исследования процессов обращения с вторичным сырьем позволяет решать задачи рационального использования имеющихся материальных и финансовых ресурсов с минимальной себестоимостью перевозок. **Практическая значимость** работы заключается в том, что предложенная математическая модель процессов обращения с вторичным сырьем позволяет определить факторы и причины, влияющие на себестоимость всех ее элементов и снизить соответствующие затраты.

Ключевые слова: реверсивная логистика, вторичные ресурсы, процесс переработки, себестоимость транспортировки.

A. I. KUZMENKO, E. D. KOMAROV

MODELING OF FREIGHT ROAD TRANSPORT ON THE BASIS OF REVERSE LOGISTICS

The purpose of the study is to analyze the processes that arise during the processing of agricultural waste and to search for optimal routes for the delivery of secondary raw materials to processing sites. The object of the study is sources of waste generation, storage terminals, processing enterprises and transport links between them; The subject of the study is the technology of waste transportation and processing of secondary raw materials. The research **methodology** is based on the use of reverse logistics and vector optimization. The **findings** of the study are an analytical evaluation of the latest known methods and techniques for handling waste, which indicates the lack of an integrated approach to improving the technology of recycling secondary raw materials. The proposed technology takes into account the mutual dependence of such optimization criteria as time and cost of transportation, as well as their dependence on the structure and volume of waste and processed products, transportation distance. Formalization of the technological process of waste processing was carried out as follows. The following elements were identified: agricultural enterprises (sources of waste generation); collection and recycling of waste through the formation of technical oil; storage of oil at terminals; re-processing; production of drying oil at paint and varnish enterprises; transport support at all stages. Appropriate technological processes are described and certain restrictions are imposed. The state graph of the waste processing system is composed and mathematical modeling is performed. The quantitative estimation of the cost price of separate elements of model on an example of the certain area of territory of Ukraine is executed. As a result, a diagram of the distribution of prime cost by type of activity with agricultural waste was constructed, the analysis of which can be useful for finding possible solutions to reduce costs. The **originality** novelty lies in the theoretical justification of the processing of secondary raw materials. At the same time, the problem of determining the factors influencing the cost and costs for the transportation of waste is formalized and solved using the methods of reverse logistics and vector optimization. The developed mathematical model for studying the processes of handling secondary raw materials allows us to solve problems of rational use of available material and financial resources with a minimum cost of transportation. The **practical value** of the work lies in the fact that the proposed mathematical model of the processes of handling secondary raw materials makes it possible to determine the factors and causes that affect the cost of all its elements and reduce the corresponding costs.

Keywords: reverse logistics, secondary resources, processing process, transportation costs.