



УДК 338.49

Д. Г. Сеницина, А. Е. Чунина

ПРИВЛЕЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО НАКОПЛЕНИЯ БЫТОВОГО МУСОРА

148

Обосновано применение принципов экономической динамики к процессу моделирования существующей системы сбора и накопления бытовых отходов. Выделен комплекс факторов, объединяющих ряд признаков и связанный со стремлением многих организационных проявлений к устойчивому равновесию процесса накопления бытового мусора в контейнерах. Разработанная модель основана на линейной пропорциональности изменения параметров, характеризующих количество накапливаемого в объемах мусорных контейнеров бытового мусора в течение одного цикла.

This article justifies the use of economic dynamics principles in the process of modelling the existing system of household waste accumulation. The authors identify a number of factors relating to the tendency of various organisational manifestations to stable equilibrium of the process of accumulating household waste in containers. The model is based on the linear proportion of changes in parameters describing the quantity of household waste accumulated within one cycle.

Ключевые слова: накопление бытовых отходов, модельное построение, линейная пропорциональность изменения параметров, закономерность первичного накопления бытового мусора, коэффициент сопротивления организованному накоплению бытового мусора.

Key words: household waste accumulation, simulation modelling, linear proportion of parameter changes, patterns of initial household waste accumulation, coefficient of resistance to organised household waste accumulation.

Бытовые отходы в Калининградской области собираются и складироваются на свалках путем беспревалочной доставки мусорных контейнеров от мест сбора и накопления мусора непосредственно на свалку, где и производится их разгрузка. После разгрузки контейнеров образуются мусорные кучи, которые выравнивает бульдозер, что приводит к дополнительному перемешиванию мусора, в составе которого имеются и пищевые отходы. Почвенный слой, отведенный на территории свалки для складирования мусора, не защищен от проникновения веществ, образующихся при разложении мусора и гниения пищевых отходов в нем.

Места расположения контейнеров фактически не оборудованы, их санитарно-гигиеническое благоустройство не проведено и проектно не продумано и поэтому к контейнерам есть свободный доступ случайных людей и животных. Это приводит, во-первых, к многократному пере-



мешиванию мусора в первичных контейнерах, во-вторых, к интенсификации процессов аэробного гниения пищевых продуктов и размножению гельминтообразных и нематодов.

Население к состоянию мусорных контейнеров и санитарии мест их расположения относится безразлично, так же как и органы власти и санитарно-эпидемиологические органы. На земле возле мусорных контейнеров оставляют остатки пищевых отходов для животных, усугубляя тем самым экологическую обстановку.

Поэтому отношение к существующей системе сбора и накопления, включая и сваливание мусора на свалках, требует более детализированных исследований с целью выявления определенных закономерностей.

Применение в процессе моделирования принципов экономической динамики связано с необходимостью учета, кроме ограничений роста накопления мусорных отходов, также неравномерности поступления бытового мусора в течение каждого цикла накопления. В связи с этим возникает необходимость в пересмотре взаимодействующих факторов с позиций их «силового» воздействия на процесс.

Прежде всего, необходимо выделить комплексный фактор, объединяющий ряд признаков и связанный со стремлением многих организационных проявлений к устойчивому равновесию процесса накопления бытового мусора в контейнерах, что возможно, если контейнеры в течение одного цикла накопления способны предоставлять свободный объем для сброса мусора. Другой естественный фактор — обеспечение достаточной чистоты площадки, где оборудованы и расположены мусорные контейнеры. С позиций моделирования такая ситуация равнозначна наличию определенного состояния, к которому постоянно направлено организационно-целевое воздействие, зависящее от степени удаления его от принятого нами равновесного состояния, то есть: чем хуже организовано устойчивое накопление бытового мусора, тем большее усилие необходимо приложить, чтобы добиться намеченного организационно-целевого воздействия.

Если создавать модель с привлечением простейшей координатной системы (ось абсцисс — t (временной параметр), а ось ординат — N (количественный параметр текущего накопления бытового мусора)), можно обозначить через O равновесное состояние. Тогда на координатной оси N степень удаление точки приложения силового воздействия F от точки равновесного состояния следует обозначить, к примеру, M . В этом случае координатный отрезок вдоль оси N , обозначенный через OM , будет характеризовать степень удаленности восстанавливающего или организационно-целевого воздействия от исходного состояния. Таким образом, силовое восстанавливающее воздействие должно зависеть от величины координаты по направлению оси N , то есть $F = f(N)$.

Так как в простейшем случае модель основана на линейной пропорциональности изменения параметров, следует ввести постоянный коэффициент пропорциональности $c = const$, подтверждающий линейную взаимозависимость восстанавливающего силового воздействия от величины отклонения координаты N от исходного состояния O .



Дальнейший ход модельного построения связан с установлением знака вводимого восстанавливающего силового воздействия, поскольку любое силовое воздействие является векторной величиной. Учитывая, что в данном случае восстанавливающее воздействие всегда должно быть направлено в точку равновесного состояния O вне зависимости действующих положительных или отрицательных факторов, то направленность восстанавливающего воздействия можно принимать противоположной происходящему движению процесса накопления бытового мусора, то есть со знаком минус, подчеркивая этим, что процесс накопления бытового мусора всегда удаляет моделируемый объект от нулевого состояния или координатно от точки O , которую следует принять в таком случае за начало координат в координатной системе $t - N$. Таким образом, модельное представление восстанавливающего силового воздействия, обеспечивающего многочисленный учет факторов, обеспечивающих необходимый организационный уровень первичного сбора бытового мусора, может быть интерпретировано как

$$F = -c \cdot N. \quad (1)$$

С другой стороны, следует отметить, что организуемые восстанавливающие усилия встречают многочисленные сопротивления как со стороны «недоработок» в организации несвоевременного вывоза мусора, так и в связи с незащищенностью контейнеров от проникновения животных и отсутствия действенного контроля администраций и органов санитарного эпидемиологического надзора.

Поэтому в процессе моделирования нужно учитывать суммарное сопротивление R организованному накоплению бытового мусора, которое должно зависеть от скорости изменения параметра накопления мусора во времени, что характеризуется скоростью изменения временного параметра dn/dt в пределах одного цикла накопления. Учитывая, что в модели принята линейная пропорциональность, а также сопротивление накоплению бытового мусора направлено против процесса накопления и выступает векторной величиной и его проявление должно быть интерпретировано как отрицательное, получаем следующее модельное приближение в виде

$$R = -\mu \cdot \frac{dN}{dt}. \quad (2)$$

Применение общего уравнения динамики требует учета параметра массы, в рассматриваемом нами случае, характеризующего количество накапливаемого в объемах мусорных контейнеров бытового мусора в течение одного цикла. Если подходить к процессу моделирования накопления бытового мусора в наиболее общем виде, то следует учитывать динамические взаимодействия, связанные с проявлениями свойств накапливаемых переменных масс бытового мусора в ограниченном объеме бытовых контейнеров. Однако необходимо рассмотреть динамическое взаимодействие, учитывающее весь заполняемый объем устанавливаемых мусорных контейнеров с общей массой m заполняе-



мого бытового мусора в конце одного цикла накопления. В таком случае модельное представление уравнения динамики, характеризующее искомый процесс накопления бытового мусора, будет:

$$m \cdot \frac{d^2 N}{dt^2} = -c \cdot N - \mu \cdot \frac{dN}{dt}$$

или

$$\frac{d^2 N}{dt^2} + 2b \frac{dN}{dt} + k^2 \cdot N = 0, \quad (3)$$

где

$$\frac{c}{m} = k^2, \quad \frac{\mu}{m} = 2b. \quad (3a)$$

Полученное линейное однородное уравнение (3) второго порядка имеет несколько различных решений, из которых только одно удовлетворяет требованиям модельного представления процесса накопления бытового мусора в пределах одного цикла накопления, поскольку только указанное одно решение не представляет собой колебательный процесс, который в реальных ситуациях накопления за один цикл не наблюдается в реальных ситуациях и поэтому модельно не имеет смысла. Указанное решение выделяется после составления характеристического уравнения и анализа знаков получаемых при этом корней уравнения. Поэтому характеристическое уравнение будет:

$$n^2 + 2b \cdot n + k^2 = 0, \quad (4)$$

корни которого соответствуют

$$n_{1,2} = -b \pm \sqrt{b^2 - k^2}. \quad (4a)$$

Тогда решение, не представляющее колебательный процесс должно иметь только два действительных корня, что связано с положительным значением дискриминанта решения (4), то есть

$$b^2 - k^2 > 0 \quad \text{или} \quad b > k. \quad (5)$$

Учитывая положительность обоих коэффициентов b, k , можно сделать вывод о том, что искомый процесс первоначального накопления бытового мусора возможен только при условии, что половина коэффициента, характеризующего сопротивление, должна быть больше, чем положительный корень, квадратный от коэффициента, характеризующего величину восстанавливающегося усилия, предпринимаемого для установления в процессе накопления мусора равновесного состояния, препятствующего возникновению непредусмотренных колебаний. Поэтому, обозначив дискриминант корней в (4a) через

$$r^2 = b^2 - k^2 > 0, \quad (5a)$$

получаем два отрицательных разных корня характеристического уравнения в виде $n_{1,2} = -b \pm r$, поскольку однозначно $b > r$. Следовательно,



решение модельного уравнения (3) описывает закономерность первоначального накопления бытового мусора с достаточно большим (как это известно и наблюдаемо) внешним сопротивлением, препятствующим равновесному состоянию стабилизации накопительного сбора бытового мусора в регионе, что представимо в виде функции

$$N = C_1 \cdot e^{-(b+r)t} + C_2 \cdot e^{-(b-r)t}. \quad (6)$$

Поскольку обе функции вида $e^{-a \cdot t}$, где $a > 0$, со временем монотонно убывают, стремясь к нулю, то закономерности суммы ординат обоих экспонент (6) под влиянием восстанавливающего силового воздействия будут постепенно приближаться к своему равновесному положению, определяемому текущим значением $N = 0$.

Взяв производную от (6) и подставив ее в (6), а также учитывая начальные условия, в общем случае определяемые $t = 0 \Rightarrow N = N_0; N'_t = N'_0$, получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} N_0 = C_1 + C_2 \\ N'_0 = -C_1 \cdot (b+r) - C_2 \cdot (b-r) \end{cases} \quad (7)$$

Решив систему уравнений (7) и подставив постоянные решения в (6), получаем:

$$N = \frac{1}{2r} (N_0(b+r) + N'_0) \cdot e^{-(b+r)t} - \frac{1}{2r} (N_0(b-r) + N'_0) \cdot e^{-(b-r)t} \quad (8)$$

Исследование решения (8) не позволяет определить координаты точки экстремум и точки перегиба.

С точки зрения оценки консервативности системы первоначального накопления бытового мусора, впрочем, как и любой другой системы, необходимо учитывать, что консервативная идеализация всегда проявляет пропорциональную зависимость от начальных условий и фактически не осуществляет проявлений за счет своих внутренних свойств.

Поэтому в процессе предпринятого моделирования первоначального накопления бытовых отходов в течение одного цикла имеют значение следующие факторы: 1) начальные условия, что в идеализированном виде ведет к консервативности процесса и создает условия выполнения энергетического закона сохранения; 2) введение нелинейностей, что приводит к естественной динамической устойчивости организуемых процессов. В таких случаях наблюдается отход от изучения только природно проявляемых свойств изучаемого объекта или процесса, поскольку возможно, используя природно-проявляемые закономерности, проектировать или организовывать процесс таким образом, чтобы обеспечить наибольшую или оптимальную экономическую или коммерческую выгоду или эффективность с учетом всех технологических составляющих процесса, начиная от мусоросбора, предотвращая, в первую очередь, возможности предполагаемых катастрофических рисков, имеющих, к сожалению, место и в процессах накопления бытового мусора, и в дальнейших более или менее многочисленных процессах обращения с массами бытовых отходов.



Полученные закономерности первичного накопления бытового мусора позволяют вычислить количество накапливаемого мусора за один цикл, что способствует количественному определению поступления усредненных объемов путем вывоза дискретными порциями либо непосредственно на свалки, либо в пункты переработки или на заводы сжигания. Для этого необходимо определить усредненный временной интервал, характеризующий количественные характеристики первичного накопления бытового мусора за один цикл. Этот временной интервал определяется двумя конечными моментами времени, определяемыми начальными значениями N_0 : если первоначальное значение величины N_0 определено для момента времени $t = 0$, то следующий момент времени, соответствующий ординате N_0 , подлежит определению с учетом точек экстремума и кривизны из (8). Для определения момента времени образования вторичного значения N_0 нужно найти значение t_0 при задании в (8) текущего значения $N = N_0$:

$$N_0 = \frac{1}{2r}(N_0(b+r) + N'_0) \cdot e^{-(b+r)t_0} - \frac{1}{2r}(N_0(b-r) + N'_0) \cdot e^{-(b-r)t_0}. \quad (9)$$

Обозначив постоянные величины через

$$A = \frac{1}{2r}(N_0(b+r) + N'_0) \text{ и } B = \frac{1}{2r}(N_0(b-r) + N'_0), \quad (10)$$

имеем уравнение, логарифмирование которого позволяет выделить определяемый корень

$$t_0 = \frac{1}{2b} \ln \frac{A}{N_0 \cdot B} = \frac{1}{2b} \ln \frac{(N_0(b+r) + N'_0)}{N_0 \cdot (N_0(b-r) + N'_0)}. \quad (11)$$

Полученное значение из (11) и соблюдение условия $t_{\text{экстр.}} < t_0 \leq t_{\text{кривизн.}}$ позволяют определить одно из конечных интервальных значений для одного цикла первоначального накопления бытового мусора при его количественном значении, равном N_0 . Поэтому интервалы, в промежутках которых осуществляются процессы первоначального накопления бытового мусора, составят:

$$(0, t_0]; (t_0, 2t_0]; (2t_0, 3t_0]; (3t_0, 4t_0] \dots ((i-1)t_0, it_0] \dots ((n-1)t_0, nt_0] \quad (12)$$

Переходя далее к усредненному количественному определению накапливаемого объема бытового мусора за один цикл, можно проинтегрировать выражение (9) в пределах от нуля до значения t_0 , определяемое далее из (11). При этом получаемые значения при любых интервальных значениях других циклов будут одинаковыми, что позволяет унифицировать процесс вторичного накопления бытового мусора и определять далее его общее количество практически за любой длительный период. Если в течение длительного периода восстанавливающее воздействие равновесному процессу сбора и накопления бытового мусора можно принять постоянным, а оказываемое сопротивление сбору и накоплению мусора также определить по-



стоянным, то усредненное общее количество бытового мусора, накапливаемого за выполняемые n вторичных циклов сбора, можно определить в виде

$$N_{\text{Общ.}} = n \cdot \left(\left(\frac{N_0(b+r) + N'_0}{2r \cdot (b+r)} (1 - e^{-(b+r) \cdot t_0}) \right) - \left(\frac{N_0(b-r) + N'_0}{2r \cdot (b-r)} (1 - e^{-(b-r) \cdot t_0}) \right) \right). \quad (13)$$

Приведенный анализ как первоначального периода (одного цикла), так и вторичного, долговременного периода количественного накопления бытового мусора показывает, что естественное образование в процессе моделирования двух этапов накопления способствует введению различных нормативов затрат как для первичного h , так и для вторичного d накопления бытового мусора соответственно. Таким образом, можно учесть для процесса первичного накопления мусора затраты за один цикл, которые составят произведение норматива h на накапливаемое количество за один цикл. Зная скорость изменения затрат в процессе первичного накопления бытового мусора, можно найти оптимальные значения затрат, связанных как с комплексным влиянием всех факторов, оказывающих активное сопротивление процессу накопления мусора, так и с проявлением комплексных восстанавливающих усилий, стремящихся стабилизировать процесс накопления мусора. Используя скорость изменения затрат в процессе первоначального накопления бытового мусора, можно выделить в общем виде закономерность оптимизации этих затрат в зависимости от оказываемого накоплению бытового мусора результирующего фактора сопротивления:

$$L^* = \frac{h \cdot e^{-t_0 \cdot b} \cdot \alpha \cdot \frac{ch(\delta + \gamma)}{ch\delta}}{r \cdot \left(1 + \frac{r^2}{b^2} \right) \cdot \ln \frac{(N_0(N_0(b-r) + N'_0))}{(N_0(b+r) + N'_0)} + b \cdot r \cdot \left(1 - \frac{r^2}{b^2} \right) \cdot \left(\frac{2N_0^2 \cdot r}{(N_0 \cdot b + N'_0)^2 - N_0^2 \cdot r^2} \right)}. \quad (14)$$

Полученная закономерность сравнительно оптимальных затрат, приведенных к оказываемому сопротивлению первоначального накопления бытового мусора, имеет две характерных особенности: 1) оптимизированные затраты непосредственно связаны с преодолением оказываемых сбору сопротивлений за счет устремления как населения, так и организаторов сбора мусора к равновесному состоянию, выражающемуся коэффициентом r в обратно пропорциональной зависимости $\frac{h}{r}$;

2) факт наличия начального условия в знаменателе в виде $\ln N_0$ указывает, во-первых, что система предполагает открытое взаимодействие с внешней средой; и во-вторых, что наличие в квартирах и домах определенного количества первоначального мусора благоприятно способствует оптимизации процесса сбора, первоначальный сбор бытового мусора может быть организован и без исходных контейнеров и оборудованной площадки для них.

Исследование полученной модели (14) показывает, что наряду с коэффициентом b в не меньшей степени на процесс оптимизации затрат L оказывает и коэффициент r , непосредственно связанный как с сопро-



тивлением (коэффициент b), так и со стремлением организуемой системы к равновесию (коэффициент k^2), поскольку согласно (5a) $r = \sqrt{b^2 - k^2}$.

Поэтому очередной этап оптимизации затрат L должен быть связан дифференцированием и упрощением в допустимых пределах, в результате чего получаем

$$L_* = \frac{h \cdot e^{-b \cdot t_0} \cdot \alpha \frac{ch(\delta + \gamma)}{ch\delta}}{\left[b \cdot \ln \left((b+r) \left(1 - \frac{3r^2}{b^2} \right) \cdot N_0 \left(1 + \frac{3r^2}{b^2} \right) \cdot (b-r) \right) - r^2 \cdot \frac{(r-2b)}{b-r} \right]} \quad (15)$$

Таким образом, минимизированные затраты определяются выражением, аналогичным предыдущей закономерности оптимизации затрат (14), отнесенных к влиянию полного сопротивления процессу накопления бытового мусора в процессе одного цикла.

Об авторах

Диана Гариевна Синицина — канд. экон. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: sin-diana@yandex.ru

Александра Евгеньевна Чунина — канд. экон. наук, доц., докторант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: aechunina@mail.ru

About the authors

Dr Diana Sinitsina, Ass. Prof., Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: sin-diana@yandex.ru

Dr Aleksandra Chunina, Ass. Prof., Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: aechunina@mail.ru