



ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕСНОТЫ СВЯЗИ МЕЖДУ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ СИСТЕМЫ РАЗДЕЛЬНОГО НАКОПЛЕНИЯ ОТХОДОВ И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАКРОСИСТЕМЫ СБОРА КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В. В. Рубинов

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Актуальность организации эффективной системы работы с отходами в современном мире не вызывает сомнений. Проблема стоит особенно остро в ряде регионов Российской Федерации. Необходимо понимать, что отходы могут являться не только источником экологической опасности, но и средством получения прибыли и вторичных материальных ресурсов. Одним из перспективных направлений повышения эффективности работы с отходами называют систему раздельного накопления отходов. Система постепенно получает все большее и большее распространение в России и это безусловно позитивное движение. Однако далеко не во всех регионах система эффективно работает. Статья посвящена оценке связи между раздельным сбором отходов и основными параметрами макросистемы сбора коммунальных отходов. Проведен статистический анализ на основе данных пяти районов города Санкт-Петербурга. Описана математическая модель, связывающая параметры мест накопления отходов и эффективность раздельного накопления отходов. Проведено исследование взаимной зависимости параметров макросистемы и оценены перспективы дальнейших исследований в этой сфере.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, мусор, система обращения отходов, раздельный сбор отходов, раздельное накопление отходов, переработка, контейнерное хозяйство, мусоропровод, эффективность, математическая модель, связь, функция, макросистема, статистический анализ, теснота связи.

Для цитирования:

Рубинов, В. В. Исследование тесноты связи между эффективностью системы раздельного накопления отходов и основных параметров макросистемы сбора коммунальных отходов / В. В. Рубинов // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 3(37). – с. 61 – 70. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-3-61-70.

STUDY OF THE TIGHT CONNECTION BETWEEN THE EFFICIENCY OF THE SYSTEM OF SEPARATE ACCUMULATION OF WASTE AND THE MAIN PARAMETERS OF THE MACRO SYSTEM OF MUNICIPAL WASTE COLLECTION

V. V. Rubinov

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The relevance of organizing an effective waste management system in the modern world is beyond doubt. The problem is particularly acute in a number of regions of the Russian Federation. It is necessary to understand that waste can be not only a source of environmental hazard, but also a means of generating profit and secondary material resources. One of the promising areas for increasing the efficiency of waste management is the system of separate waste accumulation. The system is gradually becoming more and more widespread in Russia and this is certainly a positive movement. However, the system does not work effectively in all regions. The article is devoted to assessing the relationship between separate waste collection and the main parameters of the macro system for municipal waste collection. A statistical analysis was carried out based on data from five districts of St. Petersburg. A mathematical model is described that links the parameters of waste accumulation sites and the efficiency of separate waste accumulation. A study of the mutual dependence of the parameters of the macro system was carried out and the prospects for further research in this area were assessed.

Keywords: solid municipal waste, garbage, waste management system, separate waste collection, separate accumulation of waste, recycling, container management, garbage chute, efficiency, mathematical model, connection, function, macro system, statistical analysis, closeness of connection.

For citation:

Rubinov, V. V. Study of the tight connection between the efficiency of the system of separate accumulation of waste and the main parameters of the macro system of municipal waste collection / V. V. Rubinov // System analysis and logistics. – 2023. – № 3(37). – p. 61 – 70. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-3-61-70.



Введение

Актуальность организации эффективной системы работы с отходами в современном мире не вызывает сомнений [1]. Система вывоза твердых коммунальных отходов (далее ТКО) сегодня является сложной, динамической, стохастической системой, охваченной глубокими обратными связями. Сложно переоценить важность всестороннее грамотной архитектуры этой системы. Одной из главных конечных целей эффективной системы – организация минимального негативного влияния на окружающую среду и при этом извлечение максимального экономического эффекта [1]. В современном мире существуют несколько перспективных направлений повышения эффективности этой макросистемы. Одними из наиболее популярных являются глубокая сортировка и внедрение системы раздельного накопления отходов. О том, какая система является более выгодной организация сортировочных станций для твердых коммунальных отходов (далее ТКО [2]) или система раздельного накопления отходов (далее РНО [3]), споры не утихают, по сей день. Раздельное накопление отходов постепенно получает все большее и большее распространение в России и это, безусловно, позитивное движение. Однако далеко не во всех регионах она эффективно работает. Эффект от применения систем РНО не всегда положительный [4]. Естественно для развития у населения культуры раздельного накопления отходов недостаточно просто установить соответствующее оборудование.

Система раздельного накопления отходов подразумевает предварительную сортировку ТКО еще в квартире потребителя, что требует наличия некоторой инфраструктуры. Кроме того, не всегда для потребителя является доступным экономически позитивный эффект от раздельного накопления отходов (часто кроме энтузиазма конечный потребитель услуги не получает дополнительных преференций).

Цель проведенного исследования оценить тесноту связи системы раздельного накопления отходов от основных характеристик и параметров макросистемы, взятых в отдельных районах или муниципальных образованиях города Санкт-Петербурга.

Исходные данные

В качестве исходных данных были использованы данные пяти районов города Санкт-Петербурга. Основные параметры, которые были использованы данных:

1. Общие, одновременные периоды (не менее 3).
2. Масса образующихся отходов в исследуемом районе за период.
3. Масса собранных в районе РНО за периоды исследования.
4. Количество площадок, оборудованных контейнерами для раздельного сбора отходов.
5. Количество контейнеров раздельного сбора отходов в районе.
6. Количество контейнерных площадок в регионе.
7. Количество контейнерных площадок для обслуживания жилого фонда в регионе.
8. Количество открытых контейнерных площадок.
9. Количество мусорокамер в районе анализа.

Пример перечня исходных данных одного района исследования приведен в таблице 1.

Аналогичные исследования были проведены по каждому из пяти анализируемых районов.



Таблица 1 – Исходные данные района исследования

Район	Условное обозначение	Размерность	Район исследования 1		
			Июнь	Июль	Август
Период	t	Месяц	Июнь	Июль	Август
Масса РСО	M_{PCO}	тонн	87472	84214	78779
Всего масса ТКО	M_{TKO}	тонн	5408480	5628866	5693965
Площадок РСО	S_{PCO}	ед.	165	166	167
Контейнеров РСО	Q_{PCO}	ед.	473	473	473
Всего мест накопления ТКО в районе	S_{TKO}	ед.	928	922	944
Места накопления жилого фонда	$S_{TKOЖ}$	ед.	303	307	308
Оборудованные контейнерные площадки	$S_{КП}$	ед.	270	274	275
Мусорокамеры в жилом фонде	$S_{МК}$	ед.	33	33	33
Количество юридических и бюджетных организаций	$S_{ЮР}$	ед.	625	615	636

На основании исходных данных были сформулированы производные параметры для анализа. Эти параметры являются критериями определения эффективности системы РНО или макросистемы сбора ТКО в районе. Такими параметрами стали:

1. $M_{1кп}$ – масса отходов РСО собираемых за период исследования с 1 контейнерной площадки оборудованной специализированными контейнерами для раздельного сбора ТКО
2. $M_{1кт}$ – отношение собранной массы отходов РСО за период исследования к количеству контейнеров РСО установленных в регионе.
3. $Y_{кп}$ – отношение количества контейнерных площадок типа «мусорокамера» к открытым контейнерным площадкам в районе исследования.

В таблице 2 приведены значения производных параметров для первого района исследования.

Таблица 2 – Производные параметры

Район	Условное обозначение	Размерность	Район исследования 1		
			Июнь	Июль	Август
Период	t	Месяц	Июнь	Июль	Август
Масса РНО на одну контейнерную площадку	$M_{1кп}$	тонн	530	507	472
Масса РНО на один контейнер	$M_{1кт}$	тонн	184,9302	178,0427	166,5526
Доля открытых площадок по отношению к мусорокамерам	$Y_{кп}$	%	87,37	88,38	88,42

Аналогичные исследования были проведены для каждого района исследования.



Оценка тесноты связи характеристик макросистемы

Для оценки тесноты связи параметров были выбраны следующие пары переменных:

1. Отношение массы ТКО образующиеся в районе к массе собираемый РНО (формула 1).

$$F_1 = \frac{M_{PCO}}{M_{TKO}} \quad (1)$$

2. Отношение массы собираемых РНО к количеству площадок на которые установлены специализированные контейнеры для РНО (формула 2).

$$F_2 = \frac{S_{PCO}}{M_{PCO}} \quad (2)$$

3. Количество контейнерных площадок в районе к массе собираемых РНО (формула 3).

$$F_3 = \frac{S_{TKO}}{M_{PCO}} \quad (3)$$

4. Отношение массы РНО собираемых в регионе к массе количеству контейнеров, установленных в регионе исследования (формула 4).

$$F_4 = \frac{Q_{PCO}}{M_{PCO}} \quad (4)$$

5. Отношение параметра собранной массы отходов РСО за период исследования к количеству контейнеров РСО установленных в регионе к массе РНО собираемой в регионе (формула 5).

$$F_5 = \frac{M_{1km}}{M_{PCO}} \quad (5)$$

6. Отношение параметра количества контейнерных площадок типа «мусорокамера» к открытым контейнерным площадкам в районе исследования к отношению собранной массы отходов РСО за период исследования к количеству контейнеров РСО установленных в регионе (формула 6).

$$F_6 = \frac{Y_{kn}}{M_{1km}} \quad (6)$$

Для измерения тесноты связи между двумя переменными использовалась такая статистическая характеристика, как коэффициент корреляции [5].

Для двух переменных коэффициент парной корреляции определяется следующим образом (формула 7):

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

где $\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ и $\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$ – оценки дисперсий величин X, Y. Эти оценки характеризуют степень разброса значений и вокруг своих средних и (т.е. вариабельность этих переменных на множестве наблюдений) [5].

Шкала Чеддока позволяет определить степень тесноты связи представлена в таблице 3 [5].



Таблица 3 – Шкала интерпретации коэффициента корреляции

r	0	0 - 0,3	0,3 - 0,5	0,5 - 0,7	0,7 - 0,9	0,9 - 0,99	1
Степень тесноты	отсутствует	слабая	заметная	умеренная	высокая	Очень высокая	функциональная

На рисунках 1-6 представлены графики исследования зависимостей исследуемых величин.

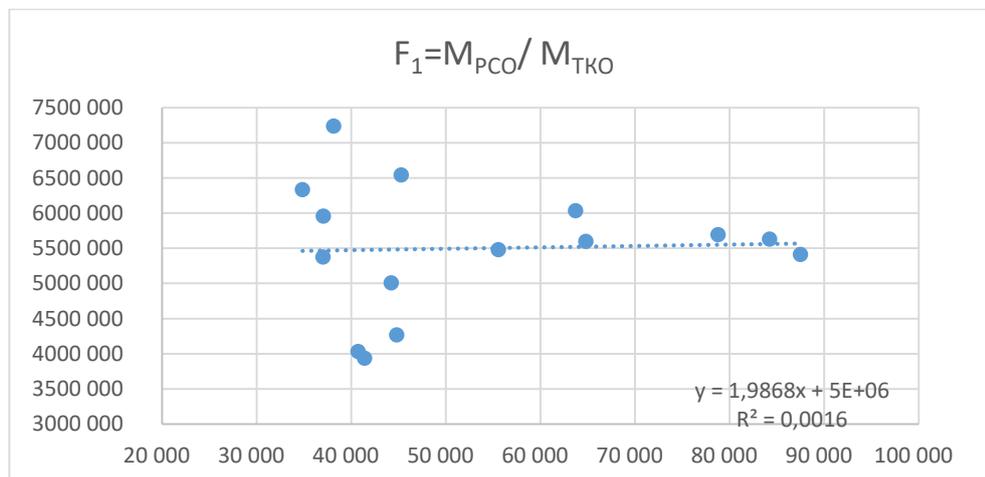


Рис. 1. Исследование тесноты связи величин F_1

Пример расчета коэффициента корреляции представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет коэффициента корреляции для параметра F_1

№	x	y	x*y	y*2	x*2
1	62480	3863200	241372736000,0	14924314240000,0	3903750400,0
2	60153	4020618	241852286285,6	16165376017387,7	3618383409,0
3	56271	4067118	228860796978,0	16541448825924,0	3166425441,0
·					
·					
·					
10	29570	2809440	83075140800,0	7892953113600,0	874384900,0
11	29080	2879180	83726554400,0	8289677472400,0	845646400,0
12	32000	3048360	97547520000,0	9292498689600,0	1024000000,0
13	39677	3914760	155325932520,0	15325345857600,0	1574264329,0
14	46290	3998100	185072049000,0	15984803610000,0	2142764100,0
15	45510	4307910	196052984100,0	18558088568100,0	2071160100,0
Сумма значений	569997,00	58936786,86	2244286373923,58	237552896483612,00	24025479877,00
Среднее значение	37999,80	3929119,12	149619091594,91	15836859765574,10	1601698658,47
Дисперсия (y)	398882674991,59				
Дисперсия (x)	157713858,43				
Коэффициент корреляции	0,04				

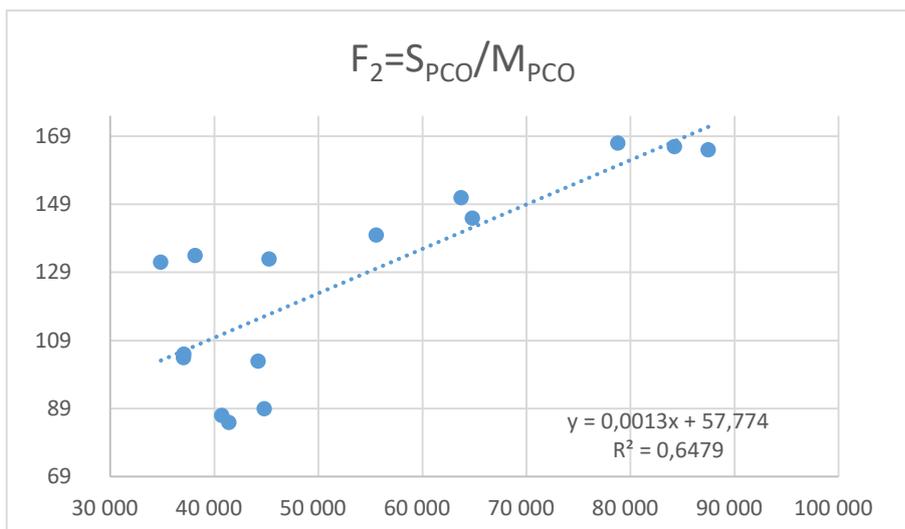


Рис. 2. Исследование тесноты связи величин F_2

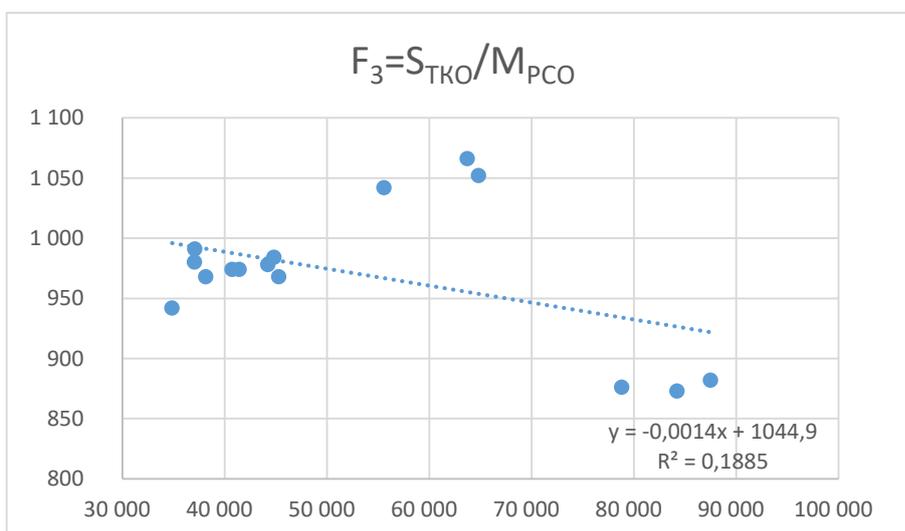


Рис. 3. Исследование тесноты связи величин F_3

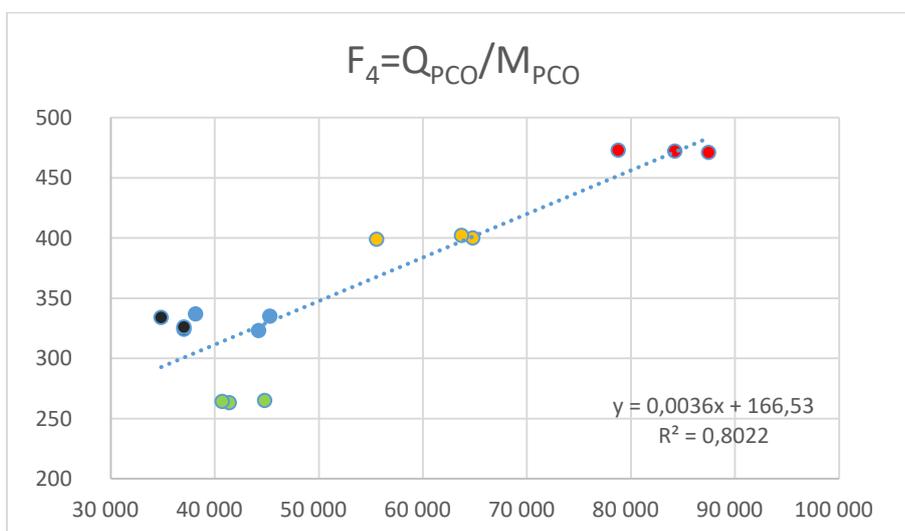


Рис. 4. Исследование тесноты связи величин F_4

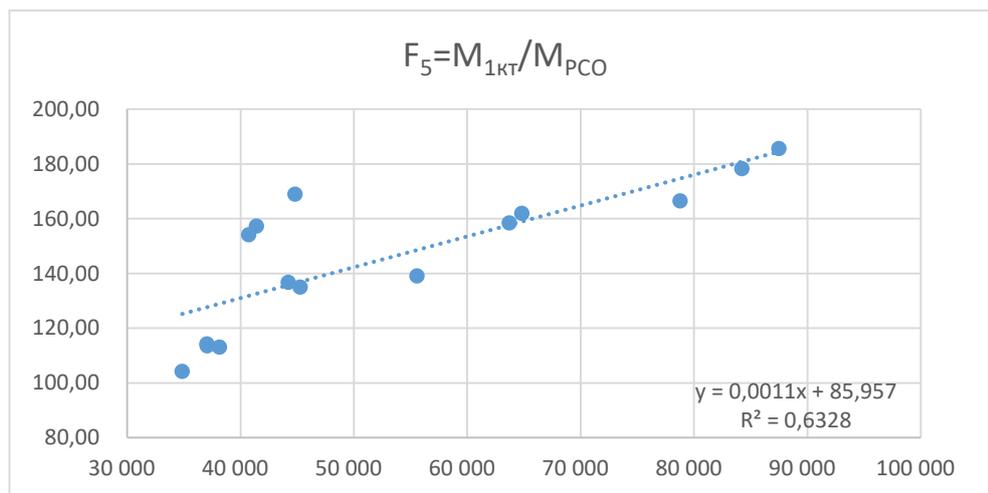


Рис. 5. Исследование тесноты связи величин F_5

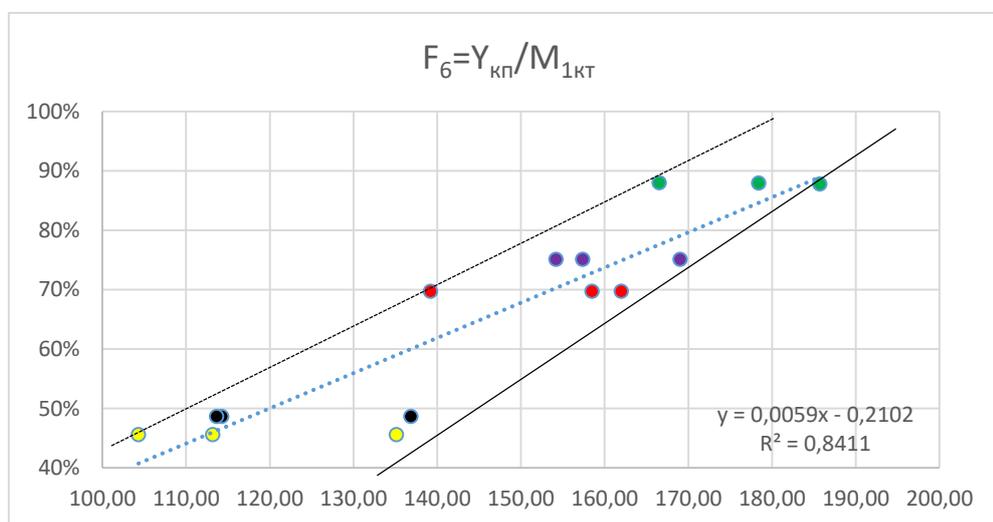


Рис. 6. Исследование тесноты связи величин F_6

Результаты

В таблице 5 представлены основные результаты оценки тесноты связи анализируемых переменных и коэффициент достоверности аппроксимации.

Таблица 5 – Результаты исследования тесноты связи

Параметр	Теснота связи	Коэффициент достоверности аппроксимации	Интерпретация
$F_1 = M_{PCO} / M_{TKO}$	0,04	0,001	Связь отсутствует
$F_2 = S_{PCO} / M_{PCO}$	0,8	0,647	Связь высокая
$F_3 = S_{TKO} / M_{PCO}$	-0,4	0,188	Связь низкая
$F_4 = Q_{PCO} / M_{PCO}$	0,9	0,802	Связь очень высокая
$F_5 = M_{1кт} / M_{PCO}$	0,8	0,632	Связь высокая
$F_6 = Y_{кп} / M_{1кт}$	0,9	0,841	Связь очень высокая



Важно отметить в интерпретации результатов следующие замечания:

Во-первых, наличие сильной связи, не обуславливает того факта, что одна величина определяет другую [6]. Вполне может существовать третья величина, которая определяет каждую из них [6]. Во-вторых, высокий коэффициент корреляции Пирсона не свидетельствует о причинно-следственной связи между исследуемыми переменными [6]. В-третьих, он показывает исключительно линейную зависимость [6].

Практические результаты исследования можно описать следующим образом. Количество ресурсов, образующихся в системе РНО, не связано с объемом образующихся ТКО в регионе. Это следствие является интуитивно понятным так как, собираемые РНО зависят от степени охвата специализированного контейнерного парка и специфических характеристик региона сбора, и не зависят от валовых показателей отходов в регионе сбора. Иными словами, можно установить связь между объемом образования ТКО и РНО только, в том случае если анализировать количество РНО в составе ТКО (то есть количество вторичных ресурсов в общем объеме отходов). Исследования на эту тему сводятся к определению доли полезных фракций в составе ТКО и выходят за рамки исследования эффективности системы РНО в данной статье.

Связь между количеством контейнерных площадок, на которых установлены специализированные контейнеры для РНО является сильной. Естественно, установка контейнера для РНО в любом случае вызовет дополнительный интерес у потребителей этой услуги. Увеличение охвата в любом случае увеличивает вал собираемых вторичных материальных ресурсов. Однако качественные характеристики сбора при этом могут существенно отличаться. Иными словами, установка дополнительной единицы контейнерного оборудования в разных районах города по-разному повлияет на объем сбора, что говорит о наличии дополнительного фактора влияния на эффективность сбора РНО.

Исследование объема вторичных материальных ресурсов, собираемых в один контейнер для РНО, показывает наличие высокой связи между этими параметрами. Очевиден факт того, что эффективность сбора в единицу контейнерного оборудования существенно отличается в разных районах. Это говорит о существовании величины, которая состоит в связи с этими параметрами.

Величиной, сильно оказывающей влияние на эффективность сбора, стала доля мусоропроводных камер в районах города.

Заключение

Опираясь на результаты исследования можно сделать ряд выводов.

Очевидно, что на системы эффективности сбора оказывает влияние внешняя объективная величина. Можно предположить влияние привыкания и обучения населения использованию контейнеров для раздельного сбора. Однако влияние этой величины требует проведения дополнительного исследования. В рамках проводимого исследования, в качестве характеристики района сбора отходов была выведена величина Y_{kp} . Физический смысл ее это доля открытых контейнерных площадок к мусоропроводам в анализируемом районе. Исследование зависимости наполняемости контейнера для РНО от этого параметра продемонстрировало наличие высокой корреляционной связи. Иными словами, чем больше в районе отдается предпочтение созданию специализированных контейнерных площадок, взамен системам мусорокамер, тем выше вовлечение населения в наполняемость контейнеров РНО. На рисунке 8 отчетливо видно, что в районах города с минимальным отношением мусорокамер к открытым контейнерным площадкам наблюдается повышение сбора РНО в единицу контейнерного оборудования на 60% и более. Такое отклонение не может быть связано с погрешностями измерений.

Таким образом, наличие мусоропроводящих камер напрямую влияет на эффективность системы раздельного накопления отходов. Объяснить это явление можно тем, что для потребителя, чтобы выбросить отходы, необходимо одеться и выйти из дома [7]. С мусоропроводом это можно сделать за считанные секунды и без какой-либо подготовки к



выходу [7]. Конструкция мусоропровода не подразумевает сортировку отходов, всё сбрасывается в один приёмник. В такой ситуации мало кто задумается о раздельном сборе [7]. Люди, привыкшие не сортировать мусор, а выбрасывать его без малейших трудозатрат в нескольких метрах от собственной квартиры, реже задумываются о возможности дополнительной сортировки мусора, даже если в прямой доступности от них существует открытая контейнерная площадка со специализированным оборудованием.

Законодательные действия по борьбе с мусоропроводными камерами оправданы. Важно при этом создавать для потребителей благоприятную инфраструктуру контейнерных площадок или иных мест накопления отходов. Дополнительные финансовые рычаги управления, несомненно приведут к положительному эффекту.

По оценке Российского экологического оператора, выбор в пользу альтернативных вариантов мусоропровода позволит улучшить санитарные условия в подъездах и поможет ускорить переход на раздельный сбор бытового мусора [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубинов В. В. Современные проблемы описания и анализа систем работы с отходами в мегаполисах / В. В. Рубинов // Системный анализ и логистика: журнал. – выпуск №2(36), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2023 – с. 39 – 44. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-2-39-44.
2. Ассоциация организаций и специалистов в сфере развития жилищно-коммунального хозяйства и городского развития «ЖКХ и городская среда»: Территориальные схемы обращения с отходами, основные положения [Электронный ресурс]. – URL: <http://gkhrazvitie.ru/recycling/> (дата обращения 24.09.2023).
3. Федеральный закон РФ № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», принят государственной думой 22.05.1998 г. Постановлением № 2491-П ГД, подписан президентом РФ 24.06.1998 г. с изменениями по состоянию на 18.12.2006. [Электронный ресурс] – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения 27.01.2023).
4. Рубинов В. В. Оценка динамики роста отходов в Санкт-Петербурге / В. В. Рубинов // Системный анализ и логистика: журнал. – выпуск №3(25), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП. – 2020 – с. 3-8. РИНЦ. DOI: 10.31799/2007-5687-2020-3-3-8.
5. Einsteins.ru: Оценка тесноты связи переменных [Электронный ресурс]. – URL: <https://einsteins.ru/subjects/statistika/teoriya-statistika/kolichestvennaya-ocenka> (дата обращения 24.09.2023).
6. Исследование коэффициента корреляции [Электронный ресурс]. – URL: https://www.syl.ru/article/229252/mod_koeffitsient-korrelyatsii-i-prichinnosledstvennaya-svyaz-formulyi-i-ih-interpretatsiya (дата обращения 24.09.2023).
7. Эко Строй Ресурс: Статья регионального оператора Самарской области по обращению с ТКО о вреде мусоропроводов [Электронный ресурс]. – URL: <https://ecostr.ru/novosti/musoroprovod-v-dome-udobstvo-ili-problema/> (дата обращения 24.09.2023).
8. Российский Экологический Оператор: Статья РЭО о вреде мусоропроводов [Электронный ресурс]. – URL: <https://reo.ru/tpost/7gyvjhst91-reo-otkaz-ot-musoroprovodov-pomozhet-izb> (дата обращения 24.09.2023).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Рубинов Владислав Валерьевич –

Аспирант, инженер кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: vvr1071995@mail.ru



INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Rubinov Vladislav Valerievich –

Postgraduate student, Engineer of the Department of System Analysis and Logistics

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: vvr1071995@mail.ru