

УДК 330.131.5

Д.С. Демиденко, Е.Д. Малевская-Малевич

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЕМ

D.S. Demidenko, E.D. Malevskaia-Malevich

## THE INDUSTRIAL WASTE UTILIZATION AS AN ECONOMIC CHALLENGE

---

Статья посвящена проблеме эффективного использования вторичных ресурсов, образующихся в ходе производственного процесса промышленного предприятия. Актуальность темы подтверждается статистическими данными отрасли обращения с промышленными отходами, а также растущим вниманием населения к экологической обстановке в регионе.

РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ; ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ; ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ; ТЕОРЕМА РЕЦИКЛИНГА; ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС.

The article deals with effective utilization of the secondary resources formed in the manufacturing process of an industrial enterprise. The topic relevance is confirmed by the statistical data from the industrial waste treatment sector, as well as the growing public attention to the environmental situation in the region.

RECYCLING; COST-EFFECTIVE; INDUSTRIAL ENTERPRISES; THEOREM RECYCLING; PRODUCTION PROCESS.

---

Отходы, неизбежно образующиеся во время производственного процесса на предприятии, могут стать источником вторичных топливно-энергетических и материальных ресурсов. Однако, как показывает анализ статистической отчетности по Санкт-Петербургу и Ленинградской области, в качестве энергоносителей рециклинг ресурсов не используется вообще, как вторичное сырье используется всего около 10 % от общей массы отходов. Такое положение дел свидетельствует о необходимости становления масштабной индустрии переработки промышленных отходов.

Результаты общественного опроса ВЦИОМ по проблеме отходов, проведенного в конце ноября 2013 г., дали следующие результаты: самой опасной экологической проблемой сегодня признаны бытовые отходы (56 % респондентов), на втором месте — промышленные отходы (49 %), на третьем — деятельность промышленных предприятий — 43 %. При этом 90 % населения поддержали программу по созданию системы по переработке отходов.\*

---

\* <http://ria.ru/earth/20131209/982949299.html>

**Постановка задачи.** Наряду с очевидными экономическими и социальными выгодами вторичному использованию ресурсов сопутствует множество проблем, одна из них — проблема повышения экономической эффективности мероприятий рециклинга для промышленных предприятий. В настоящий момент не сформирован подход к оценке экономической эффективности производства, не предложены модели оптимизации производства на основе вторичных ресурсов. Для выявления эффективных областей применения рециклинга нами сформулированы две теоремы, на основе которых в последующем могут быть построены соответствующие методические положения.

### Первая теорема рециклинга

При неизменной норме отходов и практической возможности их переработки получается «цепочка» переработки отходов, в результате достигается безотходное производство (табл. 1).

Проблема оптимального соотношения использования первичного и вторичного ресурсов в производстве обусловлена ограниченностью первичного ресурса, что вызывает

Таблица 1

Доказательство теоремы рециклинга

Цена переработки ресурса (ден. ед.)	$P_{R_1}$	$P_{R_2}$	$P_{R_3}$
Количество запускаемого в производство вторичного ресурса (нат. ед.)	1	$x$	$x^2$
Норма выхода вторичного ресурса в долях (нат. ед.)	$x = \text{const}$	$X^2$	$X^3$
Количество выпускаемого готового продукта (нат. ед.)	$1 - x$	$x - X^2 = x(1 - x)$	$x^2 - x^3 = x^2(1 - x)$
Цена продукта (ден. ед.)	$P_1$	$P_2$	$P_3$

необходимость привлекать вторичные ресурсы после их соответствующей переработки (рециклинга). Возникающие при этом экономические потери в форме дополнительных затрат на переработку отходов производства, снижения качества, а соответственно и стоимости, цены выпускаемой конечной продукции предприятия, роста безвозвратных отходов производства и др. являются платой предприятия за пользование ограниченными первичными производственными ресурсами.

**Пример.** Пусть на начальном этапе в производство запускается первичный материальный ресурс в условном объеме, равном 1. Если  $a$  – норма отходов при производстве из первичного ресурса (принимается заданной и неизменной),  $0 \leq a \leq 1$ , то после первого этапа производства годной продукции получается  $(1 - a)$  единиц. На последующих этапах в производство запускаются вторичные ресурсы (после соответствующей переработки), из которых вновь вырабатывается годная продукция. При неизменной норме отходов и практической возможности переработки всех без исключения отходов получается «цепочка» переработки отходов, в результате которой достигается безотходное производство. Суммируя годную продукцию по всем условным этапам (звеньям «цепочки»), получим:

$$(1 - a)(a^0 + a + a^2 + \dots) = (1 - a) \frac{1}{1 - a} = 1.$$

Но практически во всех звеньях «цепочки» будут иметь место безвозвратные потери, наличие которых выражается в изменении цен ресурсов на входе и годного продукта на выходе каждого «звена». Цена продукта на «выходе» каждого «звена» уменьшается, так как из отходов получается продукт более

низкого качества; эта тенденция справедлива для каждого этапа переработки:  $P_1 > P_2 > P_3$ . Цена ресурса также изменяется. Цена вторичного ресурса на втором этапе переработки ниже, чем цена первичного ресурса, но далее, по мере переработки, цена вторичного ресурса увеличивается, так как каждый последующий этап процесса переработки усложняется, что находит выражение в увеличении цены ресурса:  $P_{R_1} < P_{R_2} < P_{R_3}$ . После каждой последующей переработки годных для вовлечения в дальнейшее производство ресурсов остается все меньше (табл. 2).

Суммарный выпуск продукции ( $V$ ) в стоимостном виде составит:

$$(1 - a)(P_0 a^0 + P_2 a^2 + \dots) = (1 - a) \sum_{n=0}^{\infty} P_n a^n = V.$$

Суммарные затраты ресурсов (3) на выпуск этого количества продуктов составят:

$$3 = PR_1 a^0 + PR_2 a + PR_3 a^3.$$

Прибыль ( $\Pi$ ) будет равна:

$$\Pi = \sum_{n=0}^{\infty} (1 - a) P_n a^n - \sum_{n=0}^{\infty} PR_n a^n.$$

Цена вторичного ресурса сначала будет падать, так как очевидно, что цена отхода ниже цены первичного ресурса, однако с сокращением доли полезного сырья она будет расти. Затраты на производство сначала растут, затем рост будет замедляться.

Оптимальный объем использования вторичного ресурса в производстве будет соответствовать точке максимальной прибыли. Этот объем можно рассматривать как оптимальный размер производства продукта.

Таблица 2

**Пример расчета объема производства в натуральном и стоимостном выражении при использовании вторичных ресурсов**

Количество запускаемого в производство вторичного ресурса	Норма выхода вторичных ресурсов, %	Количество годных для дальнейшего использования отходов производства
1	$x$	$1 - x$
$x$	$x x_1$	$x - x x_1 = x(1 - x_1)$
$x x_1$	$x x_1 x_2$	$x x_1 - x x_1 x_2 = x x_1 (1 - x_2)$
При условии	$x < x_1 < x_2 < \dots$ $0 \leq x, x_1, x_2, \dots \leq 1$	

Пример расчета (условный). Принимается, что выход вторичного ресурса на единицу «запуска» первичного ресурса является неизменной величиной  $a = 0,2$  согласно обозначениям в приведенных ранее расчетных формулах. Далее поэтапно рассчитывается прирост объема продукции за счет многократного использования вторичных ресурсов. На первом этапе рассчитывается также первоначальный объем выхода годного продукта. Принимается, что цена используемого вторичного ресурса увеличивается на каждом шаге его использования из-за увеличения затрат на переработку. Цена готового продукта на каждом этапе снижается, так как цена продукта из вторичного ресурса должна быть меньше, чем из первичного. Если запускается в производство 1 кг условного ресурса по цене 1 ден. ед., то на выходе получается 0,8 ед. готового продукта. В следую-

щий этап производственного цикла запускается переработанный вторичный ресурс – 0,2 кг (0,2 от первичного), количество готовой продукции тоже уменьшается. Цена вторичного ресурса будет меньше, чем цена первичного. На третьем этапе цена ресурса начнет возрастать, так как цена переработки ресурса на единицу возрастает, но она не может быть выше цены первичного ресурса (табл. 3).

На графике (рис. 1) цифры над линией выручки показывают относительную величину добавленной стоимости от выпускаемой продукции в приведенном объеме (добавленная стоимость как разность выручки/цены продукции и затрат на использованные ресурсы в отношении затрат на ресурсы). Как следует из этих цифр, на втором цикле получается максимальная относительная величина добавленной стоимости.

Таблица 3

**Пример расчета (условный) объема производства в натуральном и стоимостном выражении при использовании вторичных ресурсов**

Цикл использования ресурсов	Запуск в производство, кг	Цена ресурса, ден. ед.	Норма выхода ресурса, доли ед.	Выход годного продукта, ед.
1	1*	1 =	1	1
2	0,2*	0,3 =	0,06	1,06
3	0,04*	0,6 =	0,024	1,084
Цикл использования ресурсов	Выход годного продукта, ед.	Цена продукта, ден. ед.	Добавленная стоимость	Нарастающим итогом
1	0,8*	2 =	1,6	1,6
2	0,16*	1 =	0,16	1,76
3	0,032*	0,6 =	0,0192	1,78

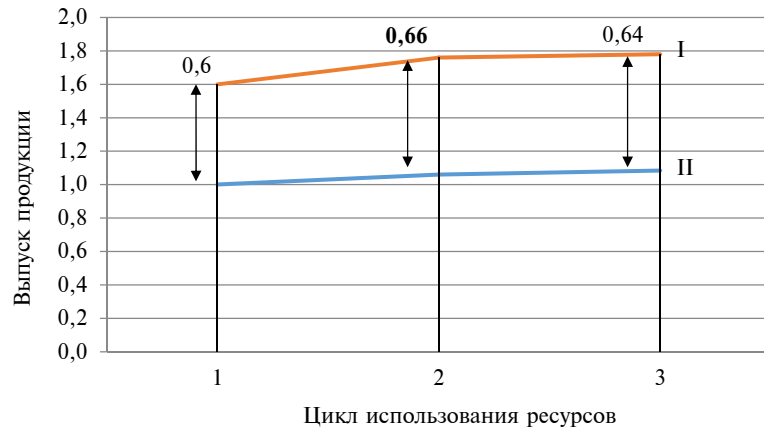


Рис. 1. Оптимальный объем производства  
I – затраты; II – выручка

Таким образом, устанавливается оптимальный объем производства с использованием вторичных ресурсов. Дальнейшее использование будет приводить к уменьшению добавленной стоимости.

**Вторая теорема рециклинга**

В условиях ограниченности материальных ресурсов для производства продукции рециклинг ресурсов создает предел экономического роста предприятия, который определен уровнем материалоемкости продукции. Например, если уровень материалоем-

кости продукции определенного вида составляет 50 %, а выход годной продукции для определенного производственного процесса равен 80 %, то при 100 %-м уровне рециклинга и отсутствии возможности привлечения в производство дополнительных материальных ресурсов экономический рост для данной продукции на предприятии не превысит  $(1 - 0,8) \cdot 0,5 = 10 \%$  при 100 %-м рециклинге; при 60 %-м рециклинге он составит всего 6 %. Под уровнем рециклинга здесь понимается степень повторного использования производственных отходов.

Таблица 4

**Доказательство второй теоремы рециклинга**

Шаг исследования	Количество продукции на выходе процесса		
	Формулы для последовательных вычислений	Формулы для вычисления на каждом шаге	Числовые значения для примера
0	$x_0 = \frac{M_0}{m}$	$x_0 = \frac{M_0}{m}$	$X_0 = 10$
1	$x_1 = \frac{M_0 + x_0 n}{m}$	$x_1 = M_0 \frac{1 + \frac{n}{m}}{m}$	$X_1 = 15$
2	$x_2 = \frac{M_0 + x_1 n}{m}$	$x_2 = M_0 \left( \frac{1}{m} + \frac{1 + \frac{n}{m}}{m} \left( \frac{n}{m} \right) \right)$	$X_2 = 17,5$
3	$x_3 = \frac{M_0 + x_2 n}{m}$	$x_3 = M_0 \left( \frac{n}{m} + \left( 1 + \frac{n}{m} \right) \left( \frac{n}{m} \right)^2 \right)$	$X_3 = 18,75$
4	$x_4 = \frac{M_0 + x_3 n}{m}$		$X_4 = 19,38$
...	...	...	...
5	$x_5 = \frac{M_0 + x_4 n}{m}$	→	$X_5 = 19,68$

Таблица 5

Формирование «цепочки роста» для определенного вида продукции

Этап процесса	Шаг исследования			
	0	1	2	3
Новые материалы	$M_0$	$M_0$	$M_0$	$M_0$
Материалы на входе процесса	$M_0$	$M_1 = M_0 + x_0n$	$M_2 = M_0 + x_1n$	$M_3 = M_0 + x_2n$
Готовая продукция на выходе процесса (физ. ед.)	$x_0 = \frac{M_0}{m}$	$x_1 = \frac{M_1}{m}$	$x_2 = \frac{M_2}{m}$	$x_3 = \frac{M_3}{m}$

Доказательством теоремы может служить поэтапное асимптотическое стремление к нулю темпов роста производства продукции на предприятии с использованием вторичных ресурсов (отходов) собственного производства при ограниченности возможности привлечения в производство первичных ресурсов с рынка факторов производства.

Введем обозначения:

$M_0$  – максимально доступное фиксированное количество материальных ресурсов, доступных для предприятия на рынках факторов производства;

$m$  – материалоемкость продукции предприятия, выражаемая долей материальных ресурсов в цене или продажах предприятия в определенном периоде;

$n$  – норма рециклинга или доля материальных ресурсов, доступных для повторного использования в производственном процессе после соответствующей переработки (принято предположение о фиксированной величине  $n$  и  $m$ , а также о существовании очевидного соотношения  $0 \leq n \leq m$ );

$X$  – количество выпускаемой продукции определенного вида, вычисляемое как отношение материальных ресурсов на входе производственного процесса к материалоемкости продукции.

Формирование «цепочки роста» для определенного вида продукции для приведенных условий показано в табл. 5. Количество материалов на входе процесса складывается из фиксированной величины закупаемых материальных ресурсов (вследствие их ограниченности) и рециклинга вторичных ресурсов; количество продукции в физическом или стоимостном выражении определяется деле-

нием количества материалов на входе процесса на материалоемкость продукции.

Доказательство теоремы представлено в табл. 4. Темп роста объема производства продукции определенного вида стабилизируется на нулевом уровне через несколько «шагов исследования». В таблице приводятся формулы для определения количества продукции для условий, сформулированных в табл. 5, при следующих исходных данных условного примера:  $M_0 = 1, m = 0,1, n = 0,05$ . Количество продукции на выходе процесса рассчитывается при помощи полученных нами формул для последовательности вычислений. Правильность вычислений контролируется при помощи расчета по формулам для каждого конкретного шага исследования.

Как видно из табл. 4 (последняя графа), темпы роста производства продукции для приведенных условий за пять шагов снижаются практически до нуля и при этом достигается «стационарный» объем производства, который может быть определен по формуле

$$\frac{X_n}{X_{n-1}} \leq (1 + f),$$

где  $f$  – допустимая погрешность вычисления.

Для  $f = 0,02$  стационарный объем продукции определяется на пятом шаге из условия

$$\frac{19,68}{19,38} = 1,016 < 1 + 0,02.$$

Определяем, что он находится в диапазоне значений 19,38...19,68. Этот предел практически не может быть превышен. Таким образом, можно считать, что теорема доказана.

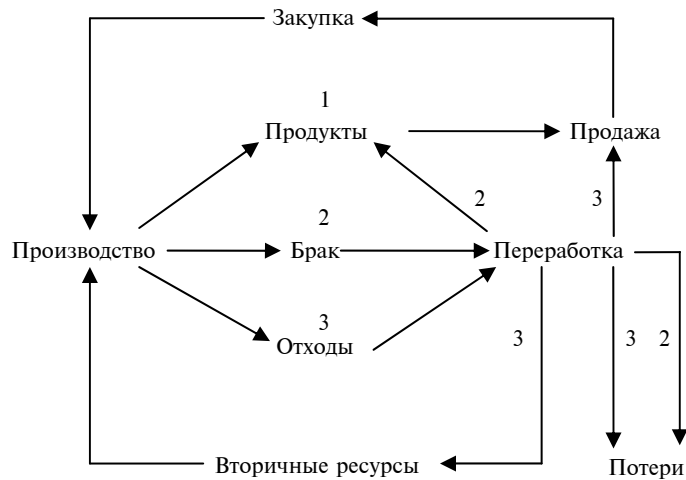


Рис. 2. Механизм эффективного использования вторичных ресурсов на предприятии

Балансовая схема отражает условие эффективного использования вторичных ресурсов. Результат («выпуск») любого производства состоит из следующих элементов:

1) выпуск основного продукта, соответствующего целевой функции производственного процесса и отвечающего установленным для данного продукта критериям (продукты, готовые и годные к конечному или промежуточному потреблению);

2) выпуск сопутствующих продуктов или производственных отходов, к которым относятся не полностью израсходованные в производственном процессе материальные остатки используемых факторов производства, возникающие из-за несовершенства технологии производства и методов обработки. Сопутствующие продукты делятся на две группы: поддающиеся регенерации для последующего повторного использования; не поддающиеся регенерации, представляющие собой безвозвратные экономические потери;

3) несоответствующие установленным стандартам качества продукты, которые также делятся на две группы: поддающиеся регенерации для последующего повторного использования, как основных продуктов требуемого качества, или для реализации на рынке как продуктов сниженных категорий качества; не поддающиеся регенерации качества, представляющие собой безвозвратные экономические потери.

Таким образом, отходы могут быть поддающимися восстановлению или непригод-

ными для переработки, в этом случае они классифицируются как потери производства (классификация результатов производства показана на рис. 2).

Необходимо знать, на какое количество вторичных ресурсов можно рассчитывать при получении их из производства. Если несоответствующие установленным стандартам качества, но поддающиеся регенерации продукты не будут должным образом учтены в материальных балансах производства, могут возникнуть излишние производственные расходы. С другой стороны, если продуктов, не поддающихся регенерации, окажется больше запланированного, возникнут дополнительные непроизводительные расходы на компенсацию потерь. Во всех перечисленных случаях речь может идти о сбалансированности результатов производства. Для анализа сбалансированности могут быть приняты за основу принципы модели В. Леонтьева «Затраты/выпуск». В контексте модели количество продуктов, выпускаемых предприятием, должно быть равно количеству продуктов, восстановленных из числа дефектных, плюс количество продуктов, произведенных для конечного использования. Из полученных балансовых условий можно определить, какое количество вторичных ресурсов должно быть получено от действующего производства.

Таким образом, теорема рециклинга показала, что есть предел экономического роста предприятия в условиях использования

вторичных ресурсов. В то же время предприятия могут в условиях ограниченных ресурсов оптимизировать свои программы экономического роста, т. е. с одной стороны, ограниченность ресурсов формирует пределы экономического роста предприятия, с другой – создаются условия для оптимизации экономического роста предприятия. Задача оптимизации экономического роста сводится к оптимальному распределению ограниченного лимита ресурсов между различными продук-

тами (программами роста) среди продуктов, выпускаемых предприятием. Эта задача может быть традиционно решена методом динамического программирования, поскольку у нее нелинейная целевая функция. Приведенная постановка и пример решения задачи оптимального распределения лимита ограниченных ресурсов по программам повышения темпов экономического роста могут иметь практическое значение для деятельности предприятия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дикань В.Л., Дейнека А.Г., Позднякова Л.А., Михайлов И.Д., Каграманян А.А. Основы экологии и природопользования. учеб. пособие. Харьков: Олант, 2002. 384 с.
2. Демиденко Д.С., Малевская-Малевич Е.Д. Повышение эффективности производства на основе расширения использования вторичных ресурсов на предприятиях Санкт-Петербурга // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2013. № 4(175). С. 84–89.
3. Каменик Л.Л. Научные основы формирования ресурсосберегающей политики и механизм ее реализации: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05, 08.00.01. СПб., 1999. 54 с.
4. Сироль С.Р. Эффективность промышленного производства с использованием вторичных ресурсов: [автореф. дис.]. СПб., 2012.
5. Пахомова Н.В. Экономика природопользования и экологический менеджмент: университет. учебник. СПб.: СПбГУ, 1999. 486 с.
6. Рециклинг отходов: [материалы с сайта]. URL: <http://www.wasterecycling.ru/>
7. Гаджиев М.М., Яковлева Е.А., Бучаев Я.Г. Частные вопросы экономической эффективности: управление затратами на основе принципов маржинального анализа // Управление экономическими системами: [электрон. науч. журнал]. 2013. № 10 (58). С. 72.
8. Бабкин А.В., Кудрявцева Т.Ю., Бахмутская А.В. Проблемы и направления формирования промышленной политики региона (на примере Санкт-Петербурга) // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. 2011. № 4. С. 27–33.
9. Карлик А.Е. Хозяйственный механизм экономики материальных ресурсов в промышленности (на примере отраслей машиностроительного комплекса): автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05. Л., 1991. 30 с.
10. Бриггем Ю, Гапенски Л. Финансовый менеджмент: [полный курс]. В 2-х т. Пер. с англ. СПб.: Экон. школа, 2005.

### REFERENCES

1. Dikan' V.L., Deineka A.G., Pozdniakova L.A., Mikhailov I.D., Kagramanian A.A. Osnovy ekologii i prirodopol'zovaniia. ucheb. posobie. Khar'kov: Olant, 2002. 384 s. (rus)
2. Demidenko D.S., Malevskaya-Malevich E.D. Increasing production efficiency through increased use of secondary resources in enterprises of St. Petersburg. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2013, no. 4(175), pp. 84–84. (rus)
3. Kamenik L.L. Nauchnye osnovy formirovaniia resursosberegaiushchei politiki i mekhanizm ee realizatsii: avtoref. dis. ... d-ra ekon. nauk: 08.00.05, 08.00.01. SPb., 1999. 54 s. (rus)
4. Sirol' S.R. Effektivnost' promyshlennogo proizvodstva s ispol'zovaniem vtorichnykh resursov: avtoref. dis. SPb., 2012. (rus)
5. Pakhomova N.V. Ekonomika prirodopol'zovaniia i ekologicheskii menedzhment: universit. uchebnik. SPb.: SPbGU, 1999. 486 s. (rus)
6. Retsikling otkhodov: [materialy s saita]. URL: <http://www.wasterecycling.ru/> (rus)
7. Gadzhiev M.M., Iakovleva E.A., Buchaev Ia.G. Chastnye voprosy ekonomicheskoi effektivnosti: upravlenie zatratami na osnove printsipov marzhinal'nogo analiza. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami*: [elektron. nauch. zhurnal]. 2013. № 10 (58). S. 72. (rus)
8. Babkin A.V., Kudriavtseva T.Iu., Bakhmutskaiia A.V. Problemy i napravleniia formirovaniia promyshlennoi



politiki regiona (na primere Sankt-Peterburga). *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo universiteta ekonomiki i finansov*. 2011. № 4. S. 27–33. (rus)

9. **Karlik A.E.** Khoziaistvennyi mekhanizm ekonomii material'nykh resursov v promyshlennosti (na primere

otraslei mashinostroitel'nogo kompleksa): avtoref. dis. ... d-ra ekon. nauk: 08.00.05. L., 1991. 30 s. (rus)

10. **Brigkhem Iu, Gapenski L.** Finansovyi menedzhment: [polnyi kurs]. V 2-kh t. Per. s angl. SPb.: Ekon. shkola, 2005. (rus)

---

**ДЕМИДЕНКО Даниил Семенович** – профессор Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор экономических наук, профессор.

195251, Политехническая ул., д. 29. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: demidenko11@rambler.ru

**DEMIDENKO Daniil S.** – St. Petersburg State Polytechnical University.

195251. Politechnicheskaya str. 29. St. Petersburg. Russia. E-mail: demidenko11@rambler.ru

**МАЛЕВСКАЯ-МАЛЕВИЧ Екатерина Данииловна** – аспирант Санкт-Петербургского государственного экономического университета, без степени.

191023, ул. Садовая, д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: mmed11@yandex.ru

**MALEVSKAIA-MALEVICH Ekaterina D.** – Saint-Petersburg State University of Economics.

191023. Sadovaya str. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: mmed11@yandex.ru

---