



УДК 65.011

*И.Л. Туккель, Н.А. Цветкова***ОБ ОСОБЕННОСТИ МНОГОПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ:
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ
ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ***I.L. Tukkel, N.A. Tsvetkova***ABOUT PECULIARITIES OF THE MULTIPROJECT MANAGEMENT:
SEQUENCE OF PROJECTS IN THE INNOVATIVE PROGRAM**

В статье предложены постановка и решение задачи определения последовательности реализации проектов в инновационной программе, учитывающие ограниченность в различных ресурсах и взаимное влияние проектов друг на друга. Приведен пример, иллюстрирующий предложенное решение.

МНОГОПРОЕКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ИННОВАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТОВ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЕКТОВ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСАХ, ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ПРОЕКТОВ, ПОРТФЕЛЬ ПРОЕКТОВ, ИННОВАЦИОННАЯ ПРОГРАММА.

In the article the following statement – determination of implementation sequence of the projects in the innovative program - and the solution of this problem are offered. They consider limitations in various resources and mutual influence of projects at each other. The example illustrating the proposed solution is given.

MULTIPROJECT MANAGEMENT, INNOVATION PROJECT, PROJECT SCHEDULING PROBLEM (PSP), RESOURCE-CONSTRAINED PROJECT SCHEDULING PROBLEM (RCPSP), INFLUENCE OF THE PROJECTS, PORTFOLIO OF PROJECTS, INNOVATIVE PROGRAM.

Многопроектное управление по сложности возникающих задач, по специфическим особенностям и неопределенностям принципиально отличается от управления отдельно взятым проектом (монопроектом) или совокупностью мало связанных между собой проектов как в части правил распределения ресурсов, так и возможного противоречия локальных целей.

При построении системы многопроектного управления важно проанализировать не только каждый проект в отдельности, но и подняться на уровень выше и посмотреть, каким же образом проекты взаимодействуют между собой и как могут повлиять на стадию коммерциализации результаты каждого из них.

Задачи построения многопроектного управления возникают при управлении мультипроектами, мегапроектами, портфелями проектов и, в самом общем случае, при управ-

лении программами как совокупностью моно-, мульти- и мегапроектов. Характерным примером программы является программа инновационного развития (ПИР): для территории, для отрасли, для предприятия, актуальность и обязательность формирования и реализации которых подчеркивается стратегической целью перевода экономики страны на инновационный путь развития.

В дальнейшем без потери общности эффективных для многопроектного управления результатов будем рассматривать задачу запуска инновационных монопроектов, входящих в общую ПИР.

Как показал анализ имеющихся научных подходов, инструментов и методов многопроектного управления, на сегодняшний день в существующих теоретических и методологических разработках недостаточно внимания уделяется вопросу анализа взаимозависимости

инноваций в программах проектов и влияния их дальнейшего распространения на рынке. Все это на практике может привести либо к игнорированию открывающихся благоприятных возможностей и упущенной выгоде (случай недооценки возможных приобретений), либо потере эффекта от инвестиций в инновационные проекты (случай недооценки возможных потерь) [1 – 3]. Следовательно, необходимо разработать такие алгоритмы определения последовательности запуска инновационных проектов, которые бы учитывали вышеописанные факторы и обладали экономической значимостью.

Задачу определения последовательности запуска проектов в программе можно свести к постановке задачи разработки расписания. В общем виде задачу составления расписаний можно сформулировать следующим образом. С помощью некоторого множества ресурсов должна быть выполнена некоторая фиксированная многопараметрическая система заданий (работ, проектов), целью которой является оптимизация или стремление оптимизировать желаемую меру эффективности.

С точки зрения теории управления проектами в качестве основных мер эффективности могут выступать следующие показатели:

- время завершения всего комплекса проектов (длина расписания);
- показатели эффективности инвестиций (чистый дисконтированный доход NPV от реализации портфеля проектов, рентабельность инвестиций ROI, внутренняя норма рентабельности IRR и другие);
- равномерность загрузки материально-технических, человеческих ресурсов;
- время или стоимость использования ресурсов;
- сумма штрафов за невыполнение директивных сроков завершения проектов.

Для описания взаимодействия нововведений в инновационной программе представим требуемые ресурсы двумя составляющими: вещественные и не вещественные.

1. Под *вещественными ресурсами* будем понимать совокупность условий, дающую возможность реализовать цели проекта (все необходимые средства для реализации проекта). Отличительной чертой вещественных ресурсов проекта является их зависимость от

времени t . Выделим следующие типы таких ресурсов:

- финансовое обеспечение проекта;
- материально-техническое обеспечение проекта. Средства труда, основные и оборотные фонды предприятия (материалы, сырье, полуфабрикаты, машины, оборудование);
- обеспечение человеческими ресурсами. Совокупность профессиональных, деловых, личностных качеств участников проекта и членов его команды и их возможностей (влияния, «веса», связей и т. п.), которые могут быть использованы при осуществлении проекта;
- информационное обеспечение.

При проведении анализа программы проектов вещественные ресурсы R задаются двумя параметрами:

- располагаемый в момент времени t фонд ресурса вида r ;
- потребность в момент времени t в ресурсе вида r для выполнения проекта.

Все вещественные ресурсы предлагается нормировать. Например, загрузку исполнителя (сотрудник, отдел, подрядчик, станок и т. п.) можно рассматривать так: исполнитель может выполнить в месяц работ не более N условных единиц, для проекта требуется M условных единиц работы исполнителя. Условными единицами могут выступать деньги, трудозатраты и т. п.

2. *Невещественные ресурсы* представляют собой такие ресурсы, которые принадлежат проекту изначально, не зависят от времени выполнения проекта t и не обладают материально-вещественной (физической) структурой. К не вещественным ресурсам будем относить объекты интеллектуальной собственности: сущность, идею инновации. Выделение не вещественных ресурсов важно для учета влияния проектов друг на друга, на будущий объем рынка сбыта инноваций, на степень инновационности предприятия, репутацию предприятия и т. д.

Под положительной взаимозависимостью, или синергией, будем понимать ситуацию, когда эффект от совместной реализации проектов больше суммы эффектов от их индивидуальной реализации. Под отрицательной взаимозависимостью, или каннибализацией, будем понимать обратную ситуацию, когда эффект от совместной реализации проектов

меньше суммы эффектов от их индивидуальной реализации [4].

Определение сущности инновации представляет собой типизацию данной инновации. Для цели предлагается выделить следующие типы инноваций [5]:

категория инновации, т. е. в какой части жизненного цикла товара реализуется инновация (инновация конечного продукта, процессов, процедур, циклов);

класс инновации, т. е. величина производимых изменений (модифицирующая, улучшающая, прорывная, интегрирующая);

масштаб инновации, т. е. соотношение величины производимых изменений к величине реализуемой продукции (глобальная, локальная).

Для вычисления параметра взаимовлияния в первую очередь необходимо отобрать проекты, которые пересекаются своими сущностями, например, по следующему алгоритму:

- Определение для каждого проекта типов инновации;
- Последовательное сравнение типа инновации между двумя проектами и, если значения совпадают, то устанавливается значение равно единице, в противном случае – ноль;
- Отсечение тех проектов, которые получили нулевое значения по отношению к остальным проектам.

После выявления взаимодействующих проектов нужно определить степень их влияния друг на друга. При исполнении взаимодействующих по незначительным ресурсам проектов, как правило, важно насколько раньше или позже проект i завершится относительно проекта j , ведь если разница будет существенной, то это прямым способом может сказаться на рынке сбыта инноваций, на имидже компании и, в конечном счете, на эффективности программы проектов. Тогда для задачи построения расписания инновационной программы проектов будем такое влияние определять как степень зависимости эффективности взаимодействующих проектов от разности времени окончаний таких проектов.

Перейдем к *математической постановке задачи*.

Пусть имеется n проектов в составе портфеля, тогда множество всех проектов $P = \{1, 2, \dots, n\}$, обозначим через $i \in P$ текущий

проект. Предполагается, что все проекты выполняются без прерываний.

Обозначим через $T = \{1, 2, \dots, \tau\}$ множество допустимых для расписания квантов времени, в которые может осуществляться выполнение ограничений. Тогда длительность $\tau \in T$ – желаемая или максимальная продолжительность выполнения всех проектов в программе, $\bar{\tau} \in T$ – предлагаемая алгоритмом продолжительность. Для удобства время выполнения каждого проекта $t_i \in T$ будем определять в месяцах (для проектов продолжительностью более полугодия длительность обычно кратна месяцам, менее полугодия – неделям).

Каждый проект характеризуется такими параметрами как s_i – номер начального события проекта i , f_i – номер конечного события проекта i , при этом $s_i, f_i \in T$.

Пары проектов, определимые как зависимые по своей сущности, обозначим через $Z \in P$, $Z = \{1, 2, \dots, \zeta\}$, $\zeta > 1$, независимые – $Y \in P$, $Y = \{1, 2, \dots, \gamma\}$. Сумма зависимых и независимых проектов будет равна числу всех проектов в программе $\zeta + \gamma = n$.

Для зависимых проектов работает закон транзитивности:

$$\forall a, b, c \in P, a \leftrightarrow b \cap a \leftrightarrow c \Rightarrow a \leftrightarrow c.$$

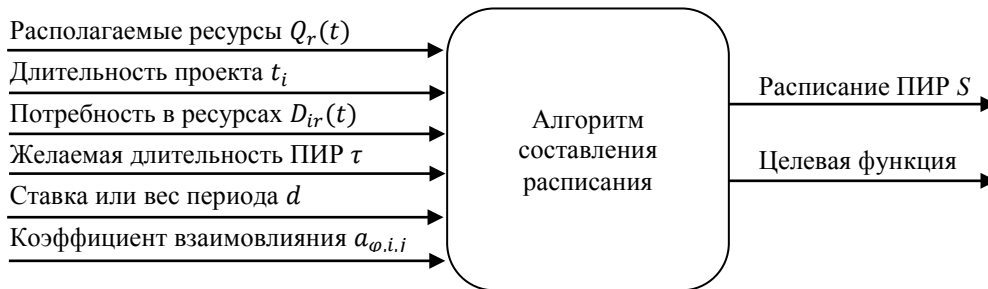
Коэффициент взаимовлияния проектов $a_{\varphi, i, j}$ показывает степень зависимости чистого дисконтированного дохода ЧДД проектов i и j от разности окончаний проектов $\varphi = f_i - f_j$, $\varphi \in \mathbb{N}$, $i \neq j$.

Пусть $R = \{1, 2, \dots, \rho\}$ множество видов ресурсов, необходимых для выполнения проектов и имеющих прямое влияние на последовательность запуска в программе. Тогда $Q_r(t)$ – располагаемый в определенный момент времени фонд ресурса вида r , $D_{ir}(t)$ – потребность в ресурсе r для выполнения проекта i , при этом $t \in T$, $r \in R$, $Q \in \mathbb{Z}^+$, $D \in \mathbb{Z}$. Денежный поток проекта будем обозначать $D_{ic}(t)$, где $c \in R$.

Введем также понятие d – ставки дисконтирования или веса периода, обозначающего, что предпочтительнее проект начинать как можно раньше.

Вектор $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ называется расписанием выполнения проектов в программе.

Расписание S называется допустимым, если:



Процесс разработки расписания ПИР

Для $\forall r \in R \sum_{i=1}^n D_{ir}(t) \leq Q_r(t), t \in T$.

В каждый момент времени $t \in T$ потребность в ресурсах для выполнения проектов должна быть удовлетворена. В ограничениях учитываются все виды вещественных ресурсов.

$$1 \leq s_i \leq \tau - t_i + 1, i \in P.$$

Проект i может быть начат в период не позже, чем разница между количеством доступных периодов τ и длительностью проекта t_i плюс один период, т.к. отсчет начинается с 1, тогда по аналогии получим окончание проекта $f_i = s_i + t_i - 1$.

Тогда чистый дисконтированный доход ЧДД (*Net Present Value, NPV*) будет:

$$NPV_i = \sum_{t=1}^{\tau} \frac{D_{ic}(t)}{(1+d)^{t-1}}$$

ЧДД независимых проектов равен:

$$NPV_Y = \sum_{i=1}^Y NPV_i$$

ЧДД взаимосвязанных проектов зависит от коэффициента взаимовлияния проектов:

$$NPV_Z = \frac{\sum_{i,j=1}^{\zeta} a_{\phi,i,j} * (NPV_i + NPV_j)}{\zeta - 1},$$

$$i, j \in P, i \neq j, \zeta > 1$$

Для определенности в качестве целевой функции возьмем показатель ЧДД программы проектов:

$$NPV = NPV_Y + NPV_Z \rightarrow \max.$$

Необходимо сформировать оптимальный (рациональный) вариант расписания выполнения проектов рассматриваемой программы

(найти такое s_i для каждого проекта), обеспечивающий максимальный $NPV \rightarrow \max$ и удовлетворяющий всем ограничениям.

Поставленную задачу можно изобразить в следующем виде (см. рисунок.).

Поставленная дискретная оптимизационная задача в условиях заданных ограничений на ресурсы является NP -трудной в сильном смысле. В силу сложности данной задачи целесообразно использовать малотрудоёмкие алгоритмы, такие как приближенные методы [6 – 9], базирующиеся на приоритетных правилах, лагранжевых релаксациях, идеях эволюции, локальном поиске и др.

Для решения примера поставленной задачи используется эволюционный метод, основанный на генетическом алгоритме и локальном поиске [10]. Генетический алгоритм – эвристический алгоритм поиска, напоминающий биологическую эволюцию. В таком алгоритме генерируется и используется одновременно не одно, а несколько допустимых решений. Итеративно на основе комбинации лучших свойств этих нескольких решений создаются новые более эффективные расписания, которые заменяют полученные на более ранних итерациях алгоритма и используются на дальнейших этапах решения. Особенностью метода локального поиска заключается в том, что на каждой итерации процесса выбор нового решения производится не детерминированно, а в результате реализации некоторого случайного процесса [11].

Рассмотрим следующий пример. Пусть программа состоит из пяти инновационных проектов. Первым шагом будет определение значений вещественных ресурсов. Зададим значения параметров денежного потока проектов табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные для определения денежного потока программы проектов

		Потребность в финансовых ресурсах D_{ic}											
Периоды t		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Проекты	Проект 1	-100	-200	-100	0	100	500	-	-	-	-	-	-
	Проект 2	-100	-300	-400	-200	0	-100	300	800	800	-	-	-
	Проект 3	-50	-150	-200	-100	-100	-200	-100	0	500	1000	-	-
	Проект 4	-100	-300	-200	0	100	300	300	-	-	-	-	-
	Проект 5	-350	-100	0	200	400	400	-	-	-	-	-	-
Сумма D_{ic}		-700	-850	-900	-100	500	900	500	800	1300	1000	0	0
Ограничения Q_c		-700	-800	-800	-800	-500	-200	0	0	0	0	0	0

Т а б л и ц а 2

Исходные данные для определения загрузки человеческих ресурсов

		Потребность в человеческих ресурсах D_{ir}											
Периоды t		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Проекты	Проект 1	-5	-10	0	0	-50	-80	-	-	-	-	-	-
	Проект 2	-100	-70	-70	-50	-10	-10	-10	-10	-10	-	-	-
	Проект 3	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-	-
	Проект 4	-20	-30	-30	-30	-20	-10	-10	-	-	-	-	-
	Проект 5	-20	-20	-20	-20	-20	-	-	-	-	-	-	-
Сумма D_{ir}		-165	-170	-130	-110	-110	-110	-30	-20	-20	-10	0	0
Ограничения Q_r		-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100

Т а б л и ц а 3

Исходные данные для определения зависимости окончаний проектов на NPV

		Коэффициент зависимости проектов a_{ms}							
Разность финишей $f_i - f_j$		0	1	2	3	4	5	6	
Проекты	Проект 1 и Проект 2	1,3	1,3	1	0,9	0,9	0,5	0,5	
	Проект 1 и Проект 3	1,2	1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	
	Проект 2 и Проект 3	1,3	1,2	1	1	0,8	0,7	0,7	

Пусть для программы нам важно учесть работу отдела маркетинга, участвующего на всех этапах инновационных проектов. Загрузку отдела будем измерять в доступных часах в месяц. Таким образом, мы можем учитывать любые другие человеческие, технические ресурсы. Значения зададим таблицей 2. Вторым шагом будет определение невещественных ресурсов. Рассмотрим влияние сущностей

разрабатываемых инноваций друг на друга. Пусть путем анализа проектов выявлено, что три проекта зависят друг от друга согласно предложенному выше алгоритму. Тогда составим таблицу, в которой определим для примера, насколько разница в окончании зависимых проектов будет влиять на суммарный NPV.

После задания всех ограничений, используя эволюционный метод, найдем оптималь-

Т а б л и ц а 4

Оптимальное время начала проектов

Проекты	Номер стартового периода s_i
Проект 1	5
Проект 2	1
Проект 3	2
Проект 4	4
Проект 5	6

Т а б л и ц а 5

Полученный денежный поток портфеля проектов

Потребность в финансовых ресурсах D_{ic}													
Периоды t		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Проекты	Проект 1	0	0	0	0	-100	-200	-100	0	100	500	0	0
	Проект 2	-100	-300	-400	-200	0	-100	300	800	800	0	0	0
	Проект 3	0	-50	-150	-200	-100	-100	-200	-100	0	500	1000	0
	Проект 4	0	0	0	-100	-300	-200	0	100	300	300	0	0
	Проект 5	0	-350	-100	0	200	400	500	0	0	0	0	0
Сумма D_{ic}		-100	-700	-650	-500	-300	-200	500	800	1200	1300	1000	0
Ограничения Q_c		-700	-800	-800	-800	-500	-200	0	0	0	0	0	0

ное время старта проектов.

В результате вычислений целевая функция, представляющая собой чистый дисконтированный доход программы инновационных проектов, получилась равна 1720 условным единицам. Если бы не были учтены ограничения на невещественные ресурсы, то ЧДД программы был бы равен 1458 усл. ед., и был бы предложен другой порядок проектов. Такой разброс в значениях указывает на важность учета невещественных ресурсов при принятии

решения о запуске инновационной программы.

Приведенные постановка и решение задачи определения последовательности запуска инновационных проектов при многопроектном управлении имеют следующие преимущества: описывают реальную инновационную программу, учитывают ограничения по вещественным ресурсам и взаимозависимость проектов по невещественным ресурсам, что позволяет применять решение в различных отраслях экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубкина Н.А., Туккель И.Л. Взаимодействие инноваций в мегапроектах [Текст] / Научно-технические ведомости СПбГПУ. –2011. –№ 3 (121). –С. 88–90.
 2. Тисенко В.Н., Шадрин А.Д. О проблемах стандартизации, качества и инноватики в России [Текст]. Научно-технические ведомости СПбГПУ. –2011.–№ 3 (121). –С. 61–67.
 3. Редько С.Г. Моделирование в управлении инновациями [Текст]: учеб. пособие / С.Г. Редько.

м СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2008. – 93 с.
 4. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности [Текст] / В.М. Аньшин и др. – М.: МАТИ, 2008. – 194 с.
 5. Туккель И.Л., Голубев С.А., Сурина А.В., Цветкова Н.А. Методы и инструменты управления инновационным развитием промышленных предприятий [Текст]. СПб.: БХВ-Петербург. – 2013. – 208 с.
 6. Сервах В.В., Щербинина Т.А. О сложности одной задачи календарного планирования со скла-



дируемыми ресурсами [Текст]. // Вестник НГУ. Серия: математика, механика, информатика. – 2008. – Т8, выпуск 3. – С. 105-112.

7. **Artigues C., Demasse S., Neron E.** Resource-constrained project scheduling: models, algorithms, extensions and applications. Wiley-ISTE, 2007. 288 P.

8. **Weglarz J.** Project scheduling. Recent models, algorithms and applications. Boston: Kluwer acad. Publ., 1999, 535 P.

9. **Кочетов Ю.А., Столяр А.А.** Использование чередующихся окрестностей для приближенного

решения задачи календарного планирования с ограниченными ресурсами [Текст] // Дискрет. анализ и исслед. операций. Сер. 2. 2003. Т. 10, № 2. С. 29-55

10. Basic Solver – Algorithms and Methods Used [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solver.com/content/basic-solver-algorithms-and-methods-used>

11. **Зак Ю.А.** Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок [Текст]. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». – 2012. – 394 с.

REFERENCES

1. **Trubkina N.A., Tukkel I.L.** Vzaimo-deistvie innovatsii v megaproektakh [Tekst] / Nauchno-tekhicheskie vedomosti SPbGPU. –2011. –№3 (121). –S. 88-90.

2. **Tisenko V.N., Shadrin A.D.** O probleme standartizatsii, kachestva i innovatiki v Rossii [Tekst]. Nauchno-tekhicheskie vedomosti SPbGPU. –2011. – №3 (121). – S. 61-67.

3. **Red'ko S.G.** Modelirovanie v upravlenii innovatsiyami [Tekst]: ucheb. posobie / S.G. Red'ko. - SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta. - 2008. - 93 s. .

4. Modeli upravleniya portfelem projektov v usloviyakh neopredelennosti [Tekst] / V.M. An'shin i dr. – М.: МАТИ, 2008. – 194 с.

5. **Tukkel' I.L., Golubev S.A., Surina A.V.** Tsvetkova N.A. Metody i instrumenty upravleniya innovatsionnym razvitiem promyshlennykh predpriyatii [Tekst]. SPb.: BKhV-Peterburg. - 2013. – 208 s.

6. **Servakh V.V., Shcherbinina T.A.** O slozhnosti odnoi zadachi kalendarnogo planirovaniia so skladiruemyimi resursami [Tekst]. // Vestnik NGU.

Seriia: matematika, mekhanika, informatika. - 2008. - T8, vypusk 3. - С. 105-112.

7. **Artigues C., Demasse S., Neron E.** Resource-constrained project scheduling: models, algorithms, extensions and applications. Wiley-ISTE, 2007. 288 P.

8. **Weglarz J.** Project scheduling. Recent models, algorithms and applications. Boston: Kluwer acad. Publ., 1999, 535 P.

9. **Kochetov Iu.A., Stoliar A.A.** Ispol'zovanie chereduiushchikhsia okrestnostei dlia pribli-zhennogo resheniia zadachi kalendarnogo planirovaniia s ogranichennymi resursami [Tekst] // Diskret. analiz i issled. operatsii. Ser. 2. 2003. T. 10, № 2. S. 29-55.

10. Basic Solver - Algorithms and Methods Used [Электронный ресурс]. – Available at: <http://www.solver.com/content/basic-solver-algorithms-and-methods-used> (accessed July 1, 2013)

11. **Zak Iu.A.** Prikladnye zadachi teorii raspisaniia i marshrutizatsii perezovok [Tekst]. М.: Knizhnyi dom «LIBROKOM». - 2012. - 394 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

ТУККЕЛЬ Иосиф Львович – доктор технических наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: tukkel@acea.neva.ru

TUKKEL Iosif L. – St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: tukkel@acea.neva.ru

ЦВЕТКОВА Надежда Андреевна – аспирант кафедры управления проектами; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: nadezhdaat@gmail.com

TSVETKOVA Nadezhda A. – St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: nadezhdaat@gmail.com