УДК 658.128.003.13

[1]Е.Ю. Антипенко, [1]И.В. Доненко, [2]В.О. Поколенко, [2]Ю.А. Чуприна, [2]Д.О. Приходько

[1]*Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье*
[2]*Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ВЛОЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Рассмотрен алгоритм максимизации чистого приведенного дохода проекта, на основе изменения его календарного плана, представленный в виде сетевой модели с целью рационального распределения капитальных вложений по проекту.

Ключевые слова: строительный проект, оптимальное планирование, инвестиции, целевая функция.

Актуальность темы

Новые организационно-правовые отношения между субъектами инвестиционной деятельности требуют глубоких теоретических и практических знаний для эффективного осуществления инвестиций во всем многообразии их форм: финансовых, реальных, интеллектуальных. В первую очередь рыночные преобразования должны произойти в инвестиционной сфере, играющей ключевую роль в экономике.

Соответственно одной из наиболее актуальных проблем сегодняшней экономики является оценка эффективности реальных (капиталообразующих) инвестиционных проектов, так как именно в этой сфере лежат действенные мероприятия по выходу из экономического кризиса, переживаемого Украиной. Финансовая стабилизация и рост промышленного производства будут обеспечиваться лишь при условии, что произойдет увеличение инвестиций в реальный сектор.

Изменения внешних и внутренних условий хозяйствования, а также экономических, правовых, социальных, инвестиционных и других условий функционирования всей финансовой системы Украины привели к необходимости всесторонних исследований развития эффективного механизма управления инвестиционными проектами реального сектора экономики. В связи с этим возникает проблема анализа и выбора адекватного, своевременного и эффективного проекта, способного оптимально распределить имеющиеся у организации финансовые средства и извлечь максимальную прибыль при заданных ограничениях.

Постановка проблемы

При анализе календарных планов проектов с использованием сетевого планирования и управления для определения оптимальных сроков их выполнения (или ее этапов, отдельных процессов, работ) применяется критерий максимизации приведенной стоимости проекта [3]. Использование метода критического пути или других методов сетевого планирования в их первоначальной трактовке, при анализе стоимости проекта, в настоящее время причиной ограниченного использования сетевых моделей при определении стоимости проекта является тот факт, что сложно одновременно учесть организационные, производственные и финансовые аспекты при анализе строительного проекта на сети [4].

Анализ публикаций

Представленные в отечественной [5; 6] и зарубежной [8; 9] литературе существующие методы и модели по исследованию проектов, рассматривают задачу сокращения продолжительности проекта как приоритетную. Однако применение данных методов в управлении проектами приводит к тому, что руководство проекта в значительной степени пренебрегает финансовыми аспектами рассматриваемого проекта.

Выделение нерешенных ранее вопросов:Критерии оптимальности, с помощью которых оцениваются стоимостные потоки, зависят от инвестиций или от проекта. В работах [3-5; 8; 9] в качестве основного ограничения принят, максимум дисконтированной величины «доход-расход», который является единственным, действительно играющим важное значение в постановке сетевых задач, так как он минимально необходим при определении эффективности проекта с учетом стоимости денежных средств во времени. На основании этого проблема определения оптимального календарного плана, при котором чистая приведенная стоимость принимает наибольшее значение, принята как приоритетная в системе проблем, связанных с анализом проекта.

Цель исследования

Совершенствование и разработка эффективного и доступного метода максимизации чистого приведенного дохода (ЧПД) на сети при анализе календарных планов инвестиционных проектов.

Основной материал исследования Постановка задачи максимизации ЧПД, как наиболее уместного критерия для определения сроков выполнения проекта была рассмотрена в [9] американским ученым Расселлом. Математическую постановку задачи оптимального распределения капитальных вложений на сети можно представить в прямой и двойственной форме.

Прямая постановка задачи:

Пусть: m – множество работ (дуг) с продолжительностью d_k ($k = 1,...,m$); n – множество событий (узлов), со сроками свершения T_i и соответствующими денежными потоками F_i ($i = 1,..,n$).

Событие, предшествующее работе k обозначим как $i(k)$, а последующее – $j(k)$. Начальное событие имеет номер 1, конечное – n. Срок свершения начального события положим $T_1 = 0$.

Тогда если α – норма дисконтирования, используя экспоненциальную форму дисконтирования [8; 9],

получаем:

$$\sum_{i=1}^{n} F_i \exp(-\alpha T_i) \to \max, \qquad (1)$$

при ограничениях

$$T_{j(k)} - T_{i(k)} \le d_k,\ k = 1,..., m.$$

Как видно из выражения (1), *ЧПД* - нелинейная функция. В этом случае решение может быть найдено. Пусть имеется текущее неоптимальное, но допустимое решение T'.

Проблему нелинейности функции можно решить разложением выражения (1) в ряд Тейлора в первом приближении. Таким образом, вместо максимизирования первоначальной нелинейной функции

$$\sum_{i=1}^{n} F_i \exp(-\alpha T_i)$$

процедура приближения должна максимизировать линейную функцию:

$$-\sum_{i=1}^{n} T_i\, \alpha\, F_i' .$$

Коэффициент при T_i в этом приближении дисконтирует с отрицательным знаком стоимость рассматриваемого денежного потока по отношению к начальному событию на временную величину T'_i.

Таким образом, необходимо максимизировать линейную функцию, что может быть выполнено с помощью любого из методов линейного программирования, например с помощью симплекс -метода. Но на практике симплекс алгоритм является слишком сложным и громоздким для решения поставленной проблемы. Гораздо более эффективным и дающим лучшее понимание сути проблемы является решение задачи с помощью теории двойственности.

Двойственная постановка задачи: Апроксимированная линейная целевая функция может быть переписана в следующем виде:

$$-\sum_{i=2}^{n} {}_i\alpha F_i' \to \max(\text{или} \sum_{i=2}^{n} T_i \alpha F' \to \min) \text{ при } \Delta T \le -d\,(2),$$

где $F_i' = F_i \exp(-\alpha T_i')$ T' – вектор сроков свершения событий, (T_i), d – вектор продолжительности работ (d_k), Δ – матрица инцидентности дуги - события с нолями во всех k-ых рядах, кроме 1 в $i(k)$-том столбце и -1 в $j(k)$-том ряде ($k = 1,..,m$).

С целью формулировки двойственной задачи предположим, что одна из T_i либо ≥ 0 или нет. Так как $T_1 = 0$, то по отношению к остальным дугам это утверждение само по себе обеспечивает $T_i \ge 0$, а это предполагает, что T_i не ограничено в знаке. Двойственная задача тогда приобретает вид:

$$\sum_{k=1}^{m} d_k f_k \to \max(\text{или} \sum_{i=2}^{n} \alpha F_i' T_i \to \min) \qquad (3)$$

при $\Delta f \ge -\alpha F$

$f_k \ge 0, \ldots, k = 1,...m,$

где Δ□ – транспонированная Δ, является матрицей инцидентности события-дуги со всеми входящими в i-й ряд нолями, кроме 1 в столбцах, соответствующих работам, которые выходят из i-го узла и -1 в столбцах, соответствующих работам, направленным в i-й узел.

Двойственная проблема имеет вид обратной задачи, но ее интерпретация, как системы потоков в сети, доказывает, что это более эффективный подход в решении задачи, чем применение транспортной задачи.

Потоки в сетях. Двойственные переменные были интерпретированы Фордом и Фалкерсоном [8], как "изменяющиеся" потоки в сети и проиллюстрированы на простом примере. Рассмотрим сеть, изображенную на рис. 1.

Пусть намечен для ранних начал вектор T (*0, 2, 8, 11*), а критический путь проходит через работы (1, 3) и (3, 4). При ставке дисконта в 1% на выбранный временной интервал (в данном случае – месяц) дисконтированный доход (*ДД*) будет равен:

$$ДД_{РН} = -5000 \exp(-0.02) + 3000 \exp(-0.08) + \\ + 3000 \exp(-0.11) = 555{,}86.$$

Двойственная постановка задачи:

$$-2 \cdot f_1 - 8 \cdot f_2 - 4 \cdot f_3 - 8 \cdot f_4 - 3 \cdot f_5 \rightarrow max \; (или \; 2 \cdot f_1 + 8 \cdot f_2 + 4 \cdot f_3 + 8 \cdot f_4 + 3 \cdot f_5 \rightarrow min)$$

$$при \quad \begin{cases} -f_1 \quad + f_3 + f_4 = 49{,}0 \\ -f_2 - f_3 \quad + f_5 \quad = -27{,}7 \\ f_4 - f_5 = -26{,}9 \\ f_k \geq 0, \quad k = 1,\ldots,5. \end{cases} \qquad (7)$$

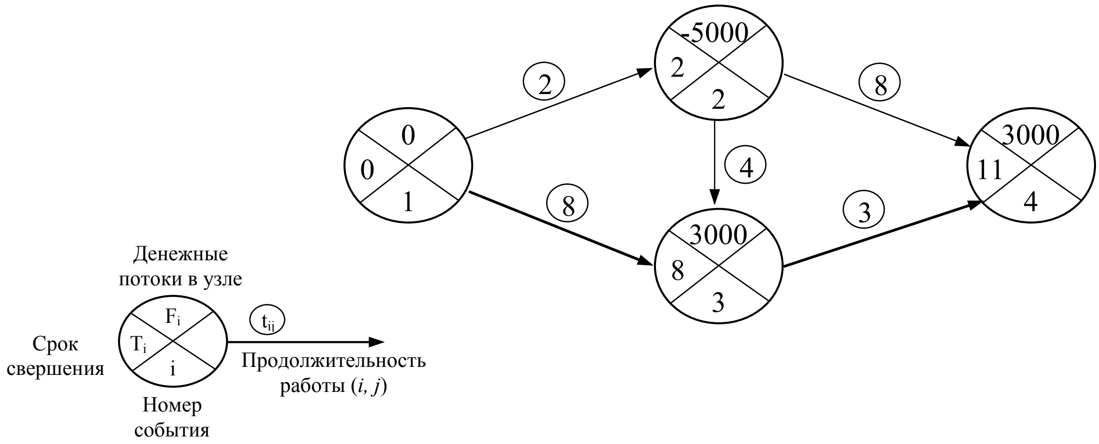

Рис. 1. Интерпретация потоков

Проблема максимизации дисконтированного дохода запишется:

$$-5000 \exp(-0{,}01T_2) + 3000 \exp(-0.01T_3) + \\ + 3000 \exp(-0.01T_4) \rightarrow \max. \qquad (4)$$

$$При - \begin{cases} T_2 & & & \leq -2 \\ & -T_3 & & \leq -8 \\ T_2 & -T_3 & & \leq -4 \\ T_2 & & -T_4 & \leq -8 \\ & T_3 & -T_4 & \leq -3 \end{cases}$$

Линейное приближение, основанное на первоначальном нахождении допустимого решения в виде вектора по ранним срокам свершения событий и дальнейшего изменения этих фиксированных сроков, можно записать:

$$50 \cdot T_2 \cdot \exp(-0{,}02) - 30 \cdot T_3 \cdot \exp(-0{,}08) - 30 \cdot T_4 \cdot \exp(-0{,}11) = \\ = 49{,}0 \cdot T_2 - 27{,}7 \cdot T_3 - 26{,}9 \cdot T_4 \rightarrow \max \qquad (6)$$

Пять переменных f_k, $k = 1,\ldots,5$ характеризуют пять основных ограничений и присущи дугам (1, 2), (1, 3), (2, 3), (2, 4) и (3, 4) соответственно.

Перепишем три уравнения ограничения с противоположными знаками и добавим к ним дополнительное (линейно подчиненное) уравнение, получим:

$$\begin{cases} -f_1 - f_2 \quad + 5.60 = 0 \\ f_1 \quad - f_3 - f_4 \quad + 49.0 = 0 \\ f_2 + f_3 \quad - f_5 \; - 27.7 = 0 \\ f_4 \; + f_5 \; - 26.9 = 0 \end{cases} . \qquad (8)$$

Из системы (8) следует, что потоки могут иметь переменное значение.

Интерпретация потока проиллюстрирована на рис. 2.

Потоки *f*, которые удовлетворяют ограничениям и максимизируют потоковую целевую функцию, в этом случае равны: f = (0, 5.6, 22.1, 26.9, 0).

Данное свойство оптимального решения линейной целевой функции применимо, когда ограничения-неравенства выполнены, поскольку уравнение может иметь двойственную переменную большую, чем ноль.

В прямой задаче (проблеме отыскания максимума дисконтированного дохода) это означает, что в оптимальном решении потоки будут принадлежать только тем дугам, чьи соответствующие работы имеют нулевой резерв. Это свойство – не только критерий для того, чтобы выявить является ли решение оптимальным, но и обоснование алгоритма, который будет описан далее.

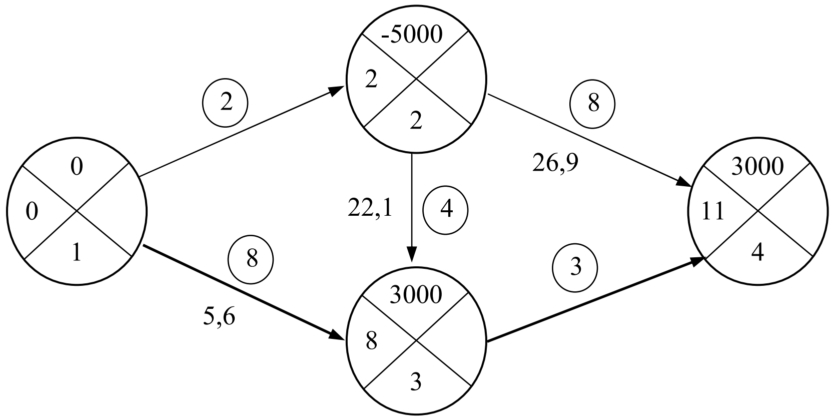

Рис. 2. Значение потоков

Таким образом, искомые оптимальные сроки свершения событий могут быть получены исходя из того факта, что в дугах, где потоки (двойственные переменные) имеют ненулевые величины - это дуги (1,3), (2,3), (2,4); сроки должны соответствовать основным ограничениям задачи, которые представлены в виде уравнений.

Работы (1,3), (2,3), (2,4) не имеют резерва времени, поэтому получаем следующий график сроков свершения событий сети – $T = (0,4,8,12)$.

Дисконтированный доход в начале выполнения следующей итерации, составит:

$$ДД^{II} = -5000 \exp(-0.04) + 3000 \exp(-0.08) + +3000 \exp(-0.12) = 626{,}16.$$

Дисконтирование денежных потоков в узлах при новых продолжительностях дает новое решение - (0, 6, 3, 21.4, 26.6, 0). Так как эти потоки находятся на тех же самых дугах, что и ранее (т.е. эти работы не имеют временного резерва), их продолжительности тоже неизменны, следовательно, полученное решение оптимальное.

Большие сети:

Рассматриваемая проблема гораздо уже, нежели общая проблема, рассматриваемая Фордом и Фалкерсоном, и для этой проблемы можно получить более простую процедуру решения. Алгоритм получен без учета специфики общего алгоритма. При этом, полагаясь на доказательства общего алгоритма, будем считать, что процедура достигает оптимального решения при конечном числе итераций. Для больших сетей, или большого количества рассматриваемых сценариев, необходимо применять компьютерные технологии для ускорения процесса принятия управленческих решений.

Алгоритм для решения задачи максимизации чистого приведенного дохода сетевой модели показан на рис.3:

Алгоритм основан на применении алгоритма «исключения дефектов» Форда – Фалкерсона.

Рассмотрим пошагово данный алгоритм:

Шаг 1. Обозначить каждую выплату (отрицательный денежный поток) как входящий поток и каждое получение (положительный денежный поток) – как исходящий поток.

Направлением дуговых стрелок указать направление движения положительных потоков.

Обратными дугами обозначить потоки с отрицательными продолжительностями.

Конечное событие с начальным событием соединить длинной связью.

Шаг 2. Определить продолжительности работ проекта, чтобы определить предварительный вариант решения (например, начальный допустимый план проекта).

Шаг 3. Вычислить резерв для каждой работы.

$a_k = T_{j(k)} - T_{i(k)} - d_k$.

Шаг 4. Дисконтировать денежные потоки в событиях по отношению к продолжительности начального события ($T_1 = 0$).

Шаг 5. Обозначить отрицательные значения дисконтированных денежных потоков как входящие потоки или исходящие в соответствующих узлах.

Суммировать дисконтированые денежные потоки алгебраически, чтобы получить дисконтированный доход проекта.

Принять это как дополнительную выплату (значение, которое будет принято из проекта в целом) в узле 1. (Примечание – фактические значения денежного потока используются для приведения, т.е. для получения двойственных переменных с целью оценки продолжительностей; эти потоки должны быть умножены на норму дисконта).

Шаг 6. Распределить положительные потоки так, чтобы закон сохранения Кирхгоффа выполнялся в каждом узле (максимизируя сумму потоков во всей сети.)

Шаг 7. Рассмотреть поочередно каждую дугу. Если дуга содержит поток отличный от ноля и имеет резерв больший, чем ноль, считают, что дуга – "с дефектом", что в свою очередь, является признаком, что потоки распределены неоптимально.

Если резерв, либо поток, обращаются в ноль, дуга считается без дефекта. Если дуга без дефекта, K, не найдена, переходят к *шагу 8*.

Если все дуги без дефектов, то поток распределен оптимально, и текущий план оптимален.

<u>*Шаг 8.*</u> Начать процесс пометки узла *i(K)* с пометкой ($-j(K), f_k$).

<u>*Шаг 9.*</u> Необходимо замкнуть контур пометок, присваивая узлу код $j(K)$, приходящий по дугам «в» или «из» помеченных узлов. Ели в отмеченном процессе узел, с которого начинается процесс расстановки пометок, получил отметку *j(K),* возникает так называемый «прорыв», после которого следует изменить значение потоков участвующих в процессе расстановки пометок, увеличивая или соответственно уменьшая значение потока, как описано в *шаге 11*. Если «прорыв» не достигнут и невозможно выполнить пометку последующих узлов, то продолжительности событий должны быть изменены в соответствии с правилами, приведенными в шаге.

<u>*Шаг 10.*</u> Определить весь набор работ, в которых начальное событие получило код, а конечное соответственно не было закодировано.

Для данного набора определяется работа с минимальным резервом $a*$. Если начальное событие, узел 1, не помечено, добавить a^* к помеченным продолжительностям всех событий получивших код.

Если узел 1 помечен, вычитают a^* из всех непомеченных узлов.

Переходим к *шагу 3*.

<u>*Шаг 11.*</u> Начиная с узла *j(k)* переходить по контуру пометок к следующему узлу, который обозначен первым в первой части пометки, прибавляя или вычитая поток по дуге, согласно знаку пометки.

Поток изменять на значение второй части пометки $E\,(j(K))$, которая получена при «прорыве».

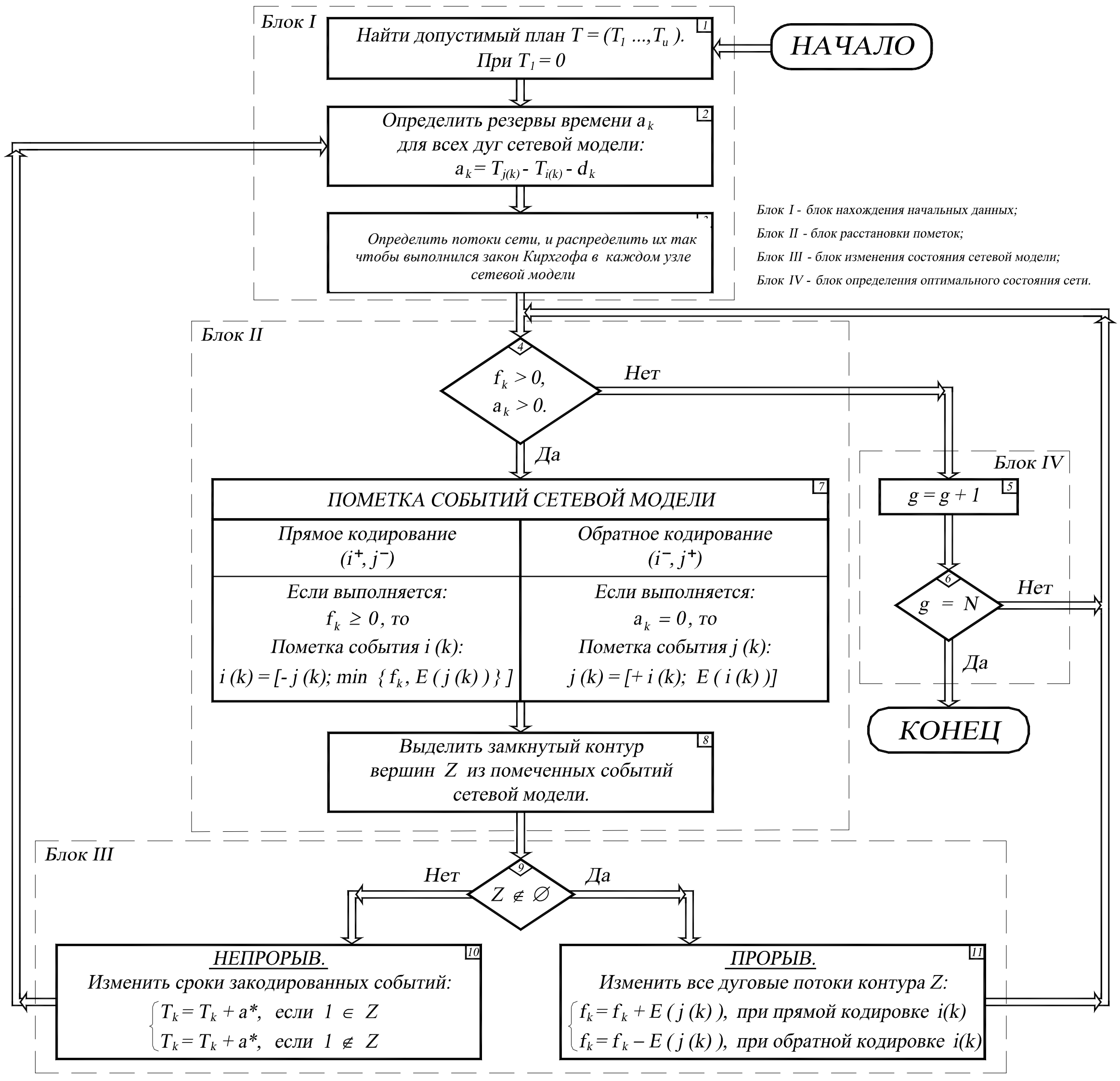

Рис. 3. Алгоритм для решения задачи максимизизации ЧПД на сети

Продолжая добавлять или вычитать поток ,изменяют $E(j(K))$ по дугам, обозначенным согласно первой части пометок, до тех пор, пока контур *j(k)* не завершен. Перейти к *шагу 7*.

Выводы

Предложенный в данном исследовании алгоритм имеет возможность широкого применения совместно с методом нахождения критического пути для оптимизации сроков освоения инвестиций при анализе календарных планов проектов и, таким образом, эффективного распределения инвестиций по его этапам. Интерпретация проблемы в виде потоковой задачи ведет к быстрому решению для небольших сетей, а также обеспечивает эффективный метод решения для больших.

Список литературы

1. *Авербах Л.И. Планирование работ с учетом приведенной стоимости. // Авербах Л.И., Воропаев В.И., Гельруд Я.Д. Экономика строительства. – 2000. – №2. – С. 28-32.*
2. *Антипенко Е.Ю. Принципы анализа капитальных вложений: Монография. / Е.Ю. Антипенко, В.И. Доненко .– Запорожье: Фазан; Дикое Поле, 2005. – 420 с.*
3. *Основы сетевого моделирования в строительстве / Швец Н.А., Залунин В.Ф., Кирнос В.М., Гупало О.Ю., Одинокий В.Г., Дадиверина Л.Н. – Днепропетровск: ПГАСА, 1999. – 62 с.*
4. *Павлов И.Д. Модели управления проектами:Учеб. пос/ И.Д. Павлов. – Запорожье: ЗГИА, 1999. – 316 с.*
5. *Тян Р.Б. Управління проектами у виробничих системах / Р.Б. Тян, І. Д. Павлов, Л.С.Головкова. - Гуманітарний ун-т "Запорізький ін-т держ. та муніципального управління". — Запоріжжя: ГУ "ЗІДМУ", 2006. — 208с.*
6. *Тян Р. Б. Управління проектами: Підручник для студ. вищ. навч. закл. / Р.Б. Тян, Б. І. Холод, В. А. Ткаченко. - Дніпропетровський ун-т економіки та права. - К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 222 с.*
7. *Форд Л.Р., Потоки в сетях /Л.Р. Форд, Д. Фалкерсон [пер. с англ. И.А. Вайншейна] – М.: Мир, 1966. – 276 с.*
8. *Herroelen W.S., Dommelen P.V., Demeulemeester E.L. Project network models with discounted cash flows a guided tour through recent developments, European Journal of Operational Research, 1997 – p.97-121.*
9. *Russel A.H. Cash flows in networks/A.H. Russel. – “Managment science”, 1970 - Vol. 16, No. 5, p. 357-373.*

Статья поступила в редколлегию:20.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.И. Назаренко, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев