

Адилъ Кадыров, Вячеслав Кунаев, Кайрош Ногаев
**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
 ФРЕЗЕРНОГО РЫХЛИТЕЛЯ И ГИДРОФОБИЗИРОВАННОГО
 ШЛАКОВОГО ЩЕБНЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В статье представлена экономико-математическая модель, позволяющая оценивать различные варианты строительства автомобильной дороги по комплексу показателей. Модель учитывает влияние расходов на эксплуатацию средств механизации, зависящих от их энергоёмкости и металлоёмкости, приобретение стройматериалов, затрат на капитальные ремонты дороги и других факторов. Предложенный системный подход предусматривает разработку новых строительных машин и материалов по результатам анализа полученной экономико-математической модели. Использование фрезерных рыхлителей при разработке скальных и мерзлых грунтов, а также гидрофобизированного доменного шлака вместо природного щебня позволят снизить дисконтированные затраты на строительство автодороги.

Ключевые слова: дорожное строительство; строительные материалы; шлаковый щебень.
 Форм. 20. Лит. 10.

Адилъ Кадыров, Вячеслав Кунаев, Кайрош Ногаев
**ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ
 ФРЕЗЕРНОГО РОЗПУШУВАЧА ТА ГІДРОФОБІЗОВАНОГО
 ШЛАКОВОГО ЩЕБЕНЮ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ**

У статті представлено економіко-математичну модель, яка дозволяє оцінювати різні варіанти будівництва автомобільних шляхів, спираючись на комплекс показників. Модель враховує вплив витрат на експлуатацію засобів механізації, що залежать від їх енергоємності та металоємності, придбання будматеріалів, витрат на капітальні ремонти дороги та інших факторів. Запропонований системний підхід передбачає розробку нових будівельних машин і матеріалів за результатами аналізу отриманої економіко-математичної моделі. Використання фрезерних розпушувачів при розробці скельних і мерзлих ґрунтів, а також гідрофобізованого доменного шлаку замість природного щебеню дозволяють знизити дисконтовані витрати на будівництво автошляхів.

Ключові слова: дорожнє будівництво; будівельні матеріали; шлаковий щебень.

Adil Kadyrov¹, Vyacheslav Kunayev², Kairosh Nogayev³
**ECONOMIC GROUNDING FOR USING CUTTERHEAD
 AND HYDROPHOBIZED SLAG BREAKSTONE
 IN ROAD CONSTRUCTION**

The article presents an economic mathematical model that allows evaluating various options of road construction using a complex of indicators. The model takes into account the impact of cost of operating mechanization means, depending on their energy intensity and metal capacity, materials purchase, cost of capital repairs of the road and other factors. The approach, offered here by the authors, involves the development of new construction machines and materials using the results of economic mathematical modelling. The application of cutterhead on rock and frozen soils, as well as hydrophobized blast furnace slag instead of natural crushed rock will reduce the discounted costs of road construction.

Keywords: road construction; building materials; slag breakstone.

Peer-reviewed, approved and placed: 14.11.2016.

¹ Karaganda State Technical University, Kazakhstan.

² Karaganda State Technical University, Kazakhstan.

³ Karaganda State Industrial University, Temirtau, Kazakhstan.

Постановка проблеми. В настоящее время отсутствуют методы, позволяющие определить оптимальную технологию строительства для определенного предприятия. Подбор средств механизации зачастую ведется хаотично, без учета условий строительства, что приводит к нерациональной их эксплуатации. Затраты на строительство и эксплуатацию линейно-протяженных объектов (в частности, автомобильных дорог) рассчитываются без дисконтирования, вследствие чего невозможно объективно оценить будущие расходы на капитальные и текущие ремонты дорог. Выбор материала для возведения дорожной одежды осуществляется исходя из стоимости производства, доставки к объекту строительства или физико-механических характеристик, тогда как оптимальное решение может быть принято только при учете взаимного влияния всех названных и ряда других факторов. В связи с этим возникает необходимость в разработке методики, позволяющей оценивать все возможные варианты строительства автодороги по комплексу наиболее важных показателей.

Анализ публикаций. В разное время решением оптимизационных задач в строительстве и при выборе параметров строительной техники занимались и продолжают заниматься такие известные исследователи, как В.И. Баловнев [1], К. Венг [10], В.Е. Каганович [2], А.С. Кадыров [3], С.Е. Канторер [4], Е.М. Кудрявцев [5], Б. Ку [10], А. Смит [9], Х. Шнурер [8]. Направленность исследований названных авторов различна: инженерная оптимизация параметров систем землеройных машин (Е.М. Кудрявцев [5]), физическое и математическое моделирование процессов работы (В.И. Баловнев [1]), эффективность применения оборудования (С.Е. Канторер [4]). При этом исследователи работали над оптимизацией технических, экономических и технологических параметров.

Методика исследования. Одним из методов решения подобных многокритериальных задач является экономико-математическое моделирование. Для определенных задач выбор критериев оптимальности экономико-математической модели требует всестороннего качественного анализа их существа и точной постановки цели, которая должна быть достигнута [6].

Цель исследования заключается в разработке экономико-математической модели, позволяющей объективно оценивать разные варианты строительства автомобильной дороги и наиболее полно учитывающей условия строительства, а также другие факторы, такие как энергоемкость, металлоемкость строительных машин, стоимость материалов дорожной одежды и т.д. На основании разработанной экономико-математической модели обосновывается способ снижения дисконтированных затрат строительных организаций на возведение автодорог на примере центральной части Республики Казахстан, учитывающий совокупность географических, климатических, экономических и промышленных факторов, характерных для данного региона.

Основные результаты исследования. Для оценки различных вариантов строительства автодороги по критериям оптимальности предлагается экономико-математическая модель, в качестве критериев оптимальности которой выбраны суммарные дисконтированные затраты на строительство $DЗ$, срок $T_{стр}$ и трудоемкость T_p строительства. Данные критерии наиболее полно учи-

тывают особенности дорожного строительства, в частности, переменный характер расходов на капитальные и текущие ремонты дороги и эффективность рассредоточения по времени финансовых вложений.

$$\begin{cases} ДЗ \rightarrow \min; \\ T_{стр} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\Pi_{qi}} \rightarrow \min; \\ T_p = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\Pi_{qi}} (B + B) \rightarrow \min, \end{cases} \quad (1)$$

где Q_i – объем работ, выполняемых i -й машиной комплекта; Π_{qi} – производительность i -й машины комплекта; B – число рабочих, занятых управлением машиной; B – число рабочих, занятых в технологическом процессе, за исключением членов экипажа.

В общем случае дисконтированные затраты можно представить как сумму единовременных капитальных вложений в средства механизации K_i и дальнейших годовых эксплуатационных затрат C_1, C_2, \dots, C_T на строительство (эксплуатацию) объекта на шаге расчетного периода (год):

$$ДЗ = K_i + \sum_{t=0}^T \frac{C_i}{(1+E)^{T-1}}, \quad (2)$$

где T – расчетный период строительства (эксплуатации), год; E – норма дисконта в относительных единицах измерения.

Дисконтированные затраты могут быть рассчитаны на отрезок времени, в течение которого производятся механизированные работы на объекте, по следующей формуле, учитывающей инвентарно-расчетную стоимость каждой машины, участвующей в механизированном процессе K_i , объем механизированных работ, выполненный каждой машиной на объекте, в единицах конечной продукции механизированного процесса O_{Mi} , эксплуатационная годовая производительность каждой машины $\Pi_{э.год.i}$ и коэффициент экономической эффективности E_n [1]:

$$ДЗ = K \frac{O_m}{\Pi_{э.год}} + \sum_{t=0}^T \frac{C_i}{(1+E)^{T-1}}. \quad (3)$$

При переменном составе комплекта машин дисконтированные затраты, отнесенные к объему механизированных работ, можно рассчитать по формуле:

$$ДЗ = E_n \sum_{i=1}^m \frac{K_i \times O_{Mi}}{\Pi_{э.год.i}} + \sum_{t=0}^T \frac{C_i}{(1+E)^{T-1}}. \quad (4)$$

Расход металла $P_{мет}$ на единицу конечной продукции комплекта машин зависит от количества металла в машинах каждой разновидности M_{Mi} , а также веса металлических деталей, узлов, запасных частей, устанавливаемых на машинах каждой разновидности при выполнении различных видов ремонта

за весь срок службы машины M_{pi} и определяется с учетом коэффициентов перехода от веса машин или от веса деталей и запасных частей к полному весу металла, расходуемого на изготовление машин i -ой разновидности K_M на их ремонт K_p , по формуле [1]:

$$P_{мет} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{M_{Mi} K_M}{T_{Hi}} + \sum_{i=1}^m \frac{M_{pi} K_p}{T_{Hi}}}{\Pi_{э.год.к}}, \quad (5)$$

где m – количество разновидностей машин в комплекте; T_{Hi} – срок службы машин i -ой разновидности, принятый в основу расчета норм амортизационных отчислений; $\Pi_{э.год.к}$ – эксплуатационная годовая выработка комплекта машин в единицах конечной продукции.

Тогда эксплуатационную годовую выработку комплекта машин можно выразить как

$$\Pi_{э.год.к} = \sum_{i=1}^m \Pi_{э.год.i} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{M_{Mi} K_M}{T_{Hi}} + \sum_{i=1}^m \frac{M_{pi} K_p}{T_{Hi}}}{P_{мет}}. \quad (6)$$

Следовательно, для определения дисконтированных затрат с учетом расхода металла на единицу конечной продукции комплекта машин (металлоемкости) можно использовать формулу:

$$ДЗ = E_n \cdot P_{мет} \sum_{i=1}^m \frac{K_i \times O_{Mi}}{\frac{M_{Mi} K_M}{T_{Hi}} + \frac{M_{pi} K_p}{T_{Hi}}} + \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+E)^{T-1}}. \quad (7)$$

Рассмотрим предложенную экономико-математическую модель, общую для любого механизированного строительного процесса, на частном примере строительства автомобильной дороги (формула (8)). В данной экономико-математической модели суммарные дисконтированные затраты на строительство дорожной одежды $ДЗ_v$ рассматриваются как сумма единовременных капитальных вложений в средства механизации K_j , непосредственно стоимости устройства дорожной одежды K_c , затрат на осуществление капитальных $K_{кр.i}$ и текущих $K_{р.j}$ ремонтов, затрат на содержание конструкции дорожной одежды C_t в каждом году t .

$$\left\{ \begin{aligned} & ДЗ_v = K_l + K_c + \sum_{i=1}^n K_{кр.i} (1+E)^{-t_i} + \sum_{j=1}^m K_{р.j} (1+E)^{-t_j} + \\ & + \sum_{t=1}^T C_t (1+E)^{-t} + \sum_{t=1}^T \Pi_t (1+E)^{-t} - \Theta_t (1+E)^{-T} \rightarrow \min; \\ & T_{стр} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\Pi_{qi}} \rightarrow \min; \\ & T_p = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\Pi_{qi}} (Б + В) \rightarrow \min, \end{aligned} \right. \quad (8)$$

где T – продолжительность расчетного периода (срок сравнения вариантов); t – порядковый номер года расчетного периода ($t = 1, \dots, T$); n – количество капитальных ремонтов за расчетный период; i – порядковый номер капитального ремонта ($i = 1, \dots, n$); m – количество ремонтов за расчетный период; j – порядковый номер ремонта ($j = 1, \dots, m$); t_i – год проведения i -го капитального ремонта; t_j – год проведения j -го ремонта; C_t – затраты на содержание конструкции дорожной одежды в году t ; Π_t – социально-экономические потери от снижения транспортно-эксплуатационных качеств конструкции дорожной одежды по сравнению с расчетными в году t ; E – безрисковая социальная норма дисконта в относительных единицах измерения (с учетом изменения указанной нормы дисконта во времени в расчетах принимают среднюю ставку дисконтирования долгосрочной доходности на дату выполнения технико-экономического сравнения вариантов дорожных одежд); $(1 + E)^t$ – коэффициент дисконтирования разновременных затрат; Θ_t – эффект posljedствия (остаточная стоимость конструкции дорожной одежды) на год T .

Стоимость устройства дорожной одежды K_c представляет собой сумму прямых затрат, накладных расходов HP и сметной прибыли $СП$:

$$K_c = ПЗ + HP + СП, \quad (9)$$

где $ПЗ = ОЗП + М + ЭМ$ – прямые затраты, учитывающие оплату труда рабочих (основную заработную плату $ОЗП$), стоимость материалов, изделий, конструкций ($М$) и эксплуатацию строительных машин ($ЭМ$).

Накладные расходы зависят от средств, затрачиваемых на оплату труда рабочих-строителей и механизаторов $З$, норматива по каждому виду строительно-монтажных работ (СМР) H_{Pj} (%) и общего количества видов работ по проекту n :

$$HP = \frac{\sum_{j=1}^n З \times H_{Pj}}{100}. \quad (10)$$

Сметная прибыль $СП$ определяется как произведение величины средств на оплату труда рабочих-строителей и механизаторов, учитываемой в составе $ПЗ$ локальной сметы, и нормы сметной прибыли по каждому виду СМР $H_{СПi}$.

$$СП = \frac{\sum_{i=1}^n З \times H_{СПi}}{100}. \quad (11)$$

Затраты на эксплуатацию строительных машин $ЭМ$ можно представить как сумму амортизационных отчислений на их полное восстановление A , затрат на выполнение всех видов ремонта, диагностирование и техническое обслуживание P , на замену быстроизнашивающихся частей (в т.ч. на замену шин) $Бизн$, на оплату труда рабочих, управляющих машинами (машинистов, водителей) $З$, на энергоносители $Э$, на смазочные материалы $С$, на гидравлическую и охлаждающую жидкость Γ , на перебазировку машин с одной строительной площадки на другую Π :

$$\mathcal{E}M = A + P + B_{\text{изн}} + \mathcal{Z} + C + G + \Pi. \quad (12)$$

Оплата труда рабочих, управляющих машинами \mathcal{Z} , определяется по формуле

$$\mathcal{Z} = \sum \mathcal{Z}_p \times t, \quad (13)$$

где \mathcal{Z}_p – оплата труда рабочего данного квалификационного разряда, ден.ед./чел.-ч; t – затраты труда рабочих данного квалификационного разряда, чел.-ч.

Затраты на энергоносители определяются как произведение энергии, потребляемой при работе машины $N_{\text{потр}}$ (кВт), и текущей цены 1 кВт энергии (или цены топлива, необходимого для получения 1 кВт энергии) $\mathcal{C}_{\text{кВт}}$:

$$\mathcal{E} = N_{\text{потр}} \times \mathcal{C}_{\text{кВт}}. \quad (14)$$

Зная, что удельная энергоемкость дорожно-строительных машин (для примера рассматриваются земляные работы, выполняемые рыхлителем, экскаватором или другой машиной) определяется как отношение потребляемой мощности $N_{\text{потр}}$ к объему разрабатываемого грунта $V_{\text{гр}}$:

$$E_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{потр}}}{V_{\text{гр}}}, \quad (15)$$

можем выразить потребляемую мощность как

$$N_{\text{потр}} = E_{\text{уд}} \times V_{\text{гр}}, \quad (16)$$

тогда

$$\mathcal{E} = E_{\text{уд}} \times V_{\text{гр}} \times \mathcal{C}_{\text{кВт}}. \quad (17)$$

Затраты на смазочные материалы C определяются как произведение средневзвешенной рыночной цены на смазочные материалы $\mathcal{C}_{\text{СМ}}$ (ден. ед./кг) и нормы расхода энергоносителя (дизельного топлива или бензина, кг/маш.-ч) с учетом коэффициента k_p , учитывающего расход смазочных материалов (для дизельных машин – 0,063, для карбюраторных – 0,05414):

$$C = k_p \times \mathcal{C}_{\text{СМ}} \times H_{\mathcal{E}}. \quad (18)$$

Сметная стоимость стройматериалов складывается из отпускной цены изготовителя материала $\mathcal{C}_{\text{отп}}$, наценок посреднических организаций H_C , расходов на тару, упаковку и реквизит P_T , расходов по доставке материалов на основной склад, объект строительства или предприятие по приготовлению полуфабрикатов $P_{\text{ТР}}$ и заготовительно-складских расходов P_3 :

$$M = \mathcal{C}_{\text{отп}} + H_C + P_T + P_{\text{ТР}} + P_3. \quad (19)$$

Подставив все приведенные ранее зависимости в формулу для определения суммарных дисконтированных затрат на строительство дороги (8), получим:

$$\begin{aligned}
ДЗ_v = & E_H \times P_{мет} \sum_{i=1}^m \frac{K_i \times O_{Mi}}{\frac{M_{Mi} K_M}{T_{Hi}} + \frac{M_{Pi} K_P}{T_{Hi}}} + ОЗП + Ц_{отп} + H_C + P_T + P_{TP} + P_3 + \\
& + A + P + Б + \sum Z_p \times t + E_{уд} \times V_{гр} \times Ц_{квт} + k_p \times Ц_{см} \times H_э + H_r \times Ц_r + П + \\
& + \frac{\sum_{j=1}^n Z \times H_{Pi} + \sum_{i=1}^n Z \times H_{Cпи}}{100} + \sum_{i=1}^n K_{кр,i} (1+E)^{-t_i} + \sum_{j=1}^m K_{pj} (1+E)^{-t_j} + \\
& + \sum_{t=1}^T C_t (1+E)^{-t} + \sum_{t=1}^T П_t (1+E)^{-t} - Э_t (1+E)^{-T}.
\end{aligned} \tag{20}$$

Предложенная методика, основанная на общеизвестных зависимостях, позволяет рассчитать дисконтированные затраты на строительство автодороги, включающие себестоимость всего комплекса машин и механизмов, исходя из их технико-экономических показателей.

Задавая на входе экономико-математической модели показатели назначения машин (энергоёмкость, металлоёмкость, затраты на ГСМ и т.д.), затраты на выполнение всех видов ремонта, диагностирование и техническое обслуживание, стоимость материалов дорожной одежды и другие переменные, на выходе исследователь получает суммарные дисконтированные затраты на строительство автомобильной дороги. Если дисконтированные затраты для двух и более вариантов равны, то данные варианты сравниваются по срокам и трудоемкости строительства, в зависимости от того, какой из этих критериев наиболее важен в определенной ситуации.

Предварительно проведенные расчеты по данной экономико-математической модели показали, что наибольшее уменьшение дисконтированных затрат на строительство автодорог в географических и климатических условиях центральной части Республики Казахстан может быть достигнуто за счет разработки более эффективной машины для рыхления грунтов и применения более дешевых строительных материалов.

Так, на момент подготовки статьи разработана полноразмерная действующая модель фрезерного рыхлителя РФ-600. Как показывают расчеты [7], применение данного рыхлителя в составе комплекта строительных машин позволит снизить единовременные капитальные вложения в средства механизации K_j , добившись наряду с этим повышения их эксплуатационной производительности.

Для снижения затрат на получение $Ц_{отп}$ и доставку P_{TP} стройматериалов к месту возведения автодороги предложено использовать вместо природного щебня промышленные отходы из находящихся вблизи отвалов. Одним из таких отходов является доменный шлак, уже применяющийся в данных целях и хранящийся в больших количествах (более 20 млн тонн по данным за 2016 г.) на отвалах АО «Арселор Миттал Темиртау» (Карагандинская область). Однако широкому использованию доменного шлака в качестве материала дорожной одежды препятствуют его высокая водопроницаемость и недостаточная морозостойкость, обусловленные пористостью.

В целях повышения названных физико-механических характеристик шлакового щебня авторами предлагается его обработка гидрофобизирующим составом – например, суспензией микрокремнезема (побочный продукт, образующийся при производстве металлургического кремния).

Как показывают предварительные расчеты, выполненные по предложенной экономико-математической модели, применение шлакового щебня, обработанного гидрофобизирующим составом, наиболее эффективно для возведения дорог III–V категорий при расположении отвалов доменного шлака на расстоянии не более 150 км.

Выводы:

1. Предложенная экономико-математическая модель позволяет определять рациональные показатели назначения машин и механизмов в зависимости от конкретных условий строительства, а также разрабатывать оптимальную технологическую схему строительства автодороги.

2. Экономико-математическое моделирование позволяет дать объективную экономическую оценку влияния изменения технологических параметров машин, типа строительных материалов на процесс строительства автомобильной дороги.

3. Для снижения капитальных вложений в средства механизации K_j при строительстве автодорог в условиях скальных, мерзлых грунтов (характерно для центрального Казахстана) предложено использование при их разработке фрезерного рыхлителя РФ-600.

4. Оптимальным способом снижения затрат на приобретение $C_{отп}$ и доставку $P_{тр}$ каменных материалов для предприятий, осуществляющих строительство автодорог в центральном Казахстане, является использование при строительстве дорожной одежды гидрофобизированного шлакового щебня. В рассматриваемом регионе данный материал может изготавливаться на основе доменного шлака АО «Арселор Миттал Темиртау» и микрокремнезема, получаемого в ТОО «Tau-KenTemir».

1. *Баловнев В.И.* Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. – М.: Высшая школа, 1981. – 355 с.

Balovnev V.I. Modelirovanie protsessov vzaimodeistviia so sredoi rabochikh organov dorozhno-stroitelnykh mashin. – М.: Vysshiaia shkola, 1981. – 355 s.

2. *Каганович В.Е.* Теоретические основы оптимизации очередности строительства и сроков реконструкции автомобильной дороги: Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.23.11. – М., 1974. – 60 с.

Kaganovich V.E. Teoreticheskie osnovy optimizatcii ocherednosti stroitelstva i srokov rekonstrukcii avtomobilnoi dorogi: Avtoref. dis... dokt. tekhn. nauk: 05.23.11. – М., 1974. – 60 s.

3. *Кадыров А.С., Унайбаев Б.Ж., Курмашева Б.К.* Теория предпроектного проектирования. На примере землеройных машин. – Караганда: Санат, 2008. – 158 с.

Kadyrov A.S., Unaibaev B.Zh., Kurmasheva B.K. Teoriia predproektnogo proektirovaniia. Na primere zemleroinnykh mashin. – Karaganda: Sanat, 2008. – 158 s.

4. *Канторер С.Е.* Методы обоснования эффективности применения машин в строительстве. – 2-е изд., перераб. и допол. – М.: Стройиздат, 1969. – 292 с.

Kantorer S.E. Metody obosnovaniia effektivnosti primeneniia mashin v stroitelstve. – 2-e izd., pererab. i dopol. – М.: Stroiizdat, 1969. – 292 s.

5. *Кудрявцев Е.М.* Научные основы синтеза и оптимизации параметров систем машин для земляных работ: Дис... докт. техн. наук / МИСИ. – М., 1979. – 250 с.

Kudriavtsev E.M. Nauchnye osnovy sinteza i optimizatcii parametrov sistem mashin dlia zemlianykh rabot: Dis... dokt. tekhn. nauk / MISI. – М., 1979. – 250 s.

6. Пашкин В.К., Красиков О.А., Могильный К.В. Экономико-математическая модель стадийного строительства автомобильных дорог с учетом современных критериев // Дороги и мосты.— 2014.— Вып. 30. — С. 11–30.

Pashkin V.K., Krasikov O.A., Mogilnyi K.V. Ekonomiko-matematicheskaja model stadiinogo stroitelstva avtomobilnykh dorog s uchetom sovremennykh kriteriev // Dorogi i mosty.— 2014.— Vyp. 30. — S. 11–30.

7. Рогов Е.И., Кадыров А.С., Коркин А.А. Оптимизация горно-строительных работ. — Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1990. — 240 с.

Rogov E.I., Kadyrov A.S., Korkin A.A. Optimizatsiia gorno-stroitelnykh работ. — Alma-Ata: Nauka Kazakhskoi SSR, 1990. — 240 s.

8. Schnuerer, H. (1984). Optimization of road investments based on accessibility criteria using a dynamic programming model. *Transportation Planning and Technology*, 9(3): 237–246.

9. Smith, A.J. (1995). The economics of a construction industry where the jobs and money come from. High-Point Rendel, USA. In: *World Congress on Project Management*, S-Petersburg (pp. 63–72).

10. Weng, K., Qu, B. (2009). The optimization of road building schedule based on budget restriction. *Kybernetes*, 38(3/4): 441–447.