

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ПОЛИТИКИ С УЧЁТОМ ТРАНСАКЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК
И СТРАХОВАНИЯ РИСКОВ РАЗРЫВА КОНТРАКТОВ

С. М. Лавлинский^a, А. А. Панин^b, А. В. Плясунов^c

Институт математики им. С. Л. Соболева,
пр. Акад. Коптюга, 4, 630090 Новосибирск, Россия
E-mail: ^alavlin@math.nsc.ru, ^baapanin1988@gmail.com,
^capljas@math.nsc.ru

Аннотация. Данная статья продолжает авторское исследование сотрудничества государства и частного инвестора в ресурсном регионе. В отличие от предыдущих работ здесь делается попытка учесть институциональные особенности процесса формирования инвестиционного климата. Для этого в модель вводятся трансакционные издержки и формируется механизм страхования риска нарушения договора. В российском минерально-сырьевом комплексе затраты и риски такого рода могут быть очень значительными. Данная работа направлена на анализ механизмов партнёрства с учётом этих обстоятельств и использует теоретико-игровую модель Штакельберга. Такие механизмы определяют экономическую политику правительства и играют важную роль в стимулировании частных инвестиций. Модель формулируется как двухуровневая задача математического программирования. Разработаны эффективные алгоритмы решения на основе метаэвристик. Это открывает возможность практического изучения на реальных данных свойств равновесия по Штакельбергу, определяющих конструкцию механизма формирования экономической политики, отвечающей интересам общества. Ил. 8, библиогр. 21.

Ключевые слова: вероятностный локальный поиск, игра Штакельберга, двухуровневые задачи математического программирования, стратегическое планирование, инвестиционный климат, трансакционные издержки, страхование риска разрыва контракта.

Авторы благодарны профессору В. В. Мазалову за идею использовать в модели подходы теории неполных договоров. Исследование выполнено в рамках государственного контракта Института математики им. С. Л. Соболева (проект № FWNF-2022-0019) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-010-00151).

Введение

Проблема устойчивого развития ресурсного региона в современных российских условиях приобретает специфические черты, требующие дополнительных инструментов воздействия на инвестора. Ключевая роль здесь отведена мерам инвестиционной и налоговой политики государства для стимулирования инвестиционной активности бизнеса.

Наряду с этим, всё большую роль в минерально-сырьевом секторе играют институциональные особенности процесса формирования инвестиционного климата. К таким факторам следует прежде всего отнести высокий уровень трансакционных издержек, остающийся, как правило, вне поля зрения сферы управления. Несовершенство государственных институтов, регулирующих добычу природных ресурсов, приводит к недооценке этого аспекта проблемы и игнорирует то обстоятельство, что механизм взаимодействия высоких трансакционных издержек и принципов формирования экономической политики достаточно сложен и требует специального инструментария [1, 2].

Другой важный аспект проблемы связан с широко распространённой практикой нарушения проектных обязательств недропользователем и преждевременной остановки работ. Побудительные мотивы такого поведения возникают у инвестора, например, в периоды низких цен, когда поток наличности становится отрицательным. Разработка механизмов страхования рисков неисполнения контрактов, препятствующих такой практике — важное направление совершенствования институтов, регулирующих отношения государства и частного инвестора.

Настоящая работа продолжает исследования авторов в области разработки инструментария формирования экономической политики в ресурсном регионе. В отличие от предыдущих работ [3–8], авторы учитывают особенности процесса формирования инвестиционного климата и дополняют модель формирования инвестиционной и налоговой политики блоком трансакционных издержек и механизмом страхования рисков разрыва контрактов. Это позволяет на новом уровне подойти к проблемам стратегического планирования [9–16] и построить цифровую технологию поддержки управленческих решений в ресурсном регионе.

1. Математические модели

В отличие от наших предшествующих работ, здесь мы предполагаем, что инвестор участвует в инфраструктурном строительстве, может преждевременно разорвать контракт и несёт трансакционные издержки (ТИ) в инфраструктурных и производственных проектах. Государство также несёт ТИ, даёт налоговые льготы и использует механизмы страхования рисков, применяемые в теории неполных контрактов для случая, когда принципал и агент действуют последовательно [17–20].

Модель транзакционных издержек. ТИ в случае реализации крупных минерально-сырьевых проектов в отдалённых районах страны могут быть очень значительны. Со стороны государства в них включены, в частности, контроль и мониторинг (в том числе технический и экологический), а также затраты на совершенствование обеспечивающих публичных институтов. Со стороны инвестора — это разработка оценки воздействия на окружающую среду, содержание служб, отвечающих за взаимодействие с соответствующими контролирующими органами и т. д.

Будем различать транзакционные издержки до (ТИ «до») и транзакционные издержки после (ТИ «после») начала реализации проекта. Это связано с тем, что ТИ в управлении природными ресурсами «до» и «после» нацелены на решение существенно разных задач. Кроме того, в зависимости от институциональной среды они могут по-разному распределяться между государством и бизнесом, и модель должна обладать функционалом, улавливающим это обстоятельство.

Все эти особенности учтены в модели формирования экономической политики. Это позволяет оценить воздействие ТИ на поток налоговых поступлений государства и поток наличности частного инвестора.

Предположения модели следующие.

1. Величина ТИ и для государства, и для инвестора зависит от объёма капвложений проекта и стоимостной оценки экологического ущерба в результате его реализации.

2. Государство (инвестор) T_1 (T_2) лет несёт ТИ «до» и полный период реализации проекта «после». ТИ нарастают к моменту запуска и убывают в процессе реализации проекта.

3. Для инвестора фиксируется не только уровень ТИ, но и то, какая их часть относится на себестоимость.

Такие гипотезы позволяют формализовать величину ТИ и уловить в агрегированном виде особенности их динамического поведения.

Модель механизма страхования рисков разрыва контрактов предполагает создание инвестором на старте проекта освоения депозита, который возвращается инвестору лишь по завершению проекта. За инвестором остаётся право разорвать контракт (прервать выполнение проекта), но в этом случае депозит остаётся у государства. Экономическими характеристиками такого механизма страхования являются размер и ставка депозита. Учитывая длительность периода освоения и особенности макроэкономических условий России, рациональный выбор таких параметров — сложная проблема, решение которой невозможно найти, рассматривая отдельный проект. Предлагаемый подход основан на использовании определённой доли рентной оценки месторождения в качестве депозита, разумный диапазон которой предстоит определить в ходе исследований.

Модель формирования инвестиционной и налоговой политики с учётом трансакционных издержек и страхования рисков разрыва контрактов может быть представлена следующим образом.

Введём следующие обозначения:

T — горизонт планирования;

T_0 — компенсационный лаг;

I — набор инвестиционных проектов освоения месторождений;

J — совокупность проектов строительства инфраструктуры;

K — набор природоохранных проектов;

M — набор уровней налоговых льгот.

Инвестиционный проект i в году t :

CFP_i^t — поток наличности (разность доходов и расходов всех видов);

EPP_i^t — экологический ущерб от реализации проекта;

ZPP_i^t — заработная плата, полученная населением в проекте;

DBP_i^t — бюджетные доходы от проекта;

$STCP_i^t, ITCP_i^t$ — трансакционные издержки государства и инвестора, возникающие в процессе подготовки («до») и реализации («после») проекта;

dep_i — страховой депозит.

Инфраструктурный проект j в году t :

ZI_j^t — затраты на реализацию проекта;

ZPI_j^t — заработная плата, полученная населением в проекте;

EPI_j^t — экологический ущерб от реализации проекта;

VDI_j^t — внепроектные доходы государства от развития территории в результате реализации инфраструктурного проекта;

$STCI_j^t, ITCI_j^t$ — трансакционные издержки государства и инвестора, возникающие в процессе подготовки («до») и реализации («после») инфраструктурного проекта.

Природоохранный проект k в году t :

ZPE_k^t — заработная плата, полученная населением в проекте;

EDE_k^t — стоимостная оценка дополнительных благ, полученных населением в результате реализации проекта;

ZE_k^t — затраты на реализацию проекта.

Предполагается, что трансакционные издержки равны нулю в природоохранных проектах. Также предполагается, что вне горизонта планирования все параметры проектов, за исключением трансакционных издержек, равны нулю.

Дисконты государства и инвестора — DG и DI соответственно.

Бюджетные ограничения и ставка депозита:

b_t^G — бюджет государства в году t ;

b_t^I — бюджет инвестора в году t ;
 Stdep — ставка депозита.

Матрицы μ и ν определяют технологическую взаимосвязь проектов, μ_{ij} — индикатор связности инфраструктурных и производственных проектов, $i \in I, j \in J$, а ν_{ik} — индикатор связности природоохранных и производственных проектов, $i \in I, k \in K$:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если реализация производственного проекта } i \text{ невозможна без реализации инфраструктурного проекта } j, \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$\nu_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если реализация производственного проекта } i \text{ невозможна без реализации природоохранного проекта } k, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Будем использовать следующие целочисленные переменные:

$$\bar{x}_j = \begin{cases} 1, & \text{если государство готово взять на себя инфраструктурный проект } j \text{ (включив его в бюджетные расходы),} \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если государство реализует инфраструктурный проект } j, \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$\bar{y}_k = \begin{cases} 1, & \text{если государство готово взять на себя природоохранный проект } k \text{ (включив его в бюджетные расходы),} \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{если государство реализует природоохранный проект } k \text{ по согласованию с инвестором,} \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$v_j = \begin{cases} 1, & \text{если инвестор реализует инфраструктурный проект } j, \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$r_i^t = \begin{cases} 1, & \text{если инвестор реализует производственный проект } i \text{ в году } t, \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$u_k = \begin{cases} 1, & \text{если инвестор реализует природоохранный проект } k, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Налоговые льготы:

TP_{im}^t — объём льгот уровня m в проекте i в году t ;

$$\varphi_{im} = \begin{cases} 1, & \text{если государство даёт льготу уровня } m \text{ произ-} \\ & \text{водственному проекту } i, \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$\bar{\varphi}_{im} = \begin{cases} 1, & \text{если государство готово дать льготу уровня } m \\ & \text{производственному проекту } i, \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

\bar{W}_t, W_t — объём компенсационных выплат инвестору в году t за участие в инфраструктурном строительстве, предложенный государством и использованный инвестором.

Задача верхнего уровня $\widetilde{\mathcal{P}\mathcal{G}}$ может быть сформулирована следующим образом:

$$\begin{aligned} & \sum_{-T_1 \leq t \leq T} \left(\sum_{i \in I} (DBP_i^t - STCP_i^t) r_i^t \right. \\ & \quad + \sum_{j \in J} (VDI_j^t - STCI_j^t) (x_j + v_j) - \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} TP_{im}^t \varphi_{im} \\ & \quad \left. - \sum_{j \in J} ZI_j^t x_j - \sum_{k \in K} ZE_k^t y_k - W_t \right) / (1 + DG)^t \rightarrow \max_{x, y, W, v, \varphi, u, r} \end{aligned} \quad (1)$$

при условиях

$$\sum_{1 \leq t \leq \omega} \left(\sum_{j \in J} ZI_j^t \bar{x}_j + \sum_{k \in K} ZE_k^t \bar{y}_k + \bar{W}_t \right) \leq \sum_{1 \leq t \leq \omega} b_t^G, \quad \omega \in T, \quad (2)$$

$$\sum_{m \in M} \bar{\varphi}_{im} \leq 1, \quad i \in I, \quad (3)$$

$$\bar{W}_t \geq 0, \quad t \in T, \quad (4)$$

$$\bar{W}_t = 0, \quad 0 \leq t \leq T_0, \quad (5)$$

$$(x, y, W, r, \varphi, u, v) \in \mathcal{F}^*(\bar{x}, \bar{y}, \bar{\varphi}, \bar{W}). \quad (6)$$

Множество \mathcal{F}^* — множество оптимальных решений следующей параметрической задачи нижнего уровня для инвестора $\widetilde{\mathcal{P}\mathcal{I}}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{\varphi}, \bar{W})$:

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in I} \text{dep}_i (-r_i^1 + r_i^T (1 + \text{Stdep})^T) / (1 + DI)^T \\ & \quad + \sum_{-T_2 \leq t \leq T} \left(\sum_{i \in I} (CFP_i^t - ITCP_i^t) r_i^t + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} TP_{im}^t \varphi_{im} \right. \\ & \quad \left. - \sum_{k \in K} ZE_k^t u_k - \sum_{j \in J} (ZI_j^t + ITCI_j^t) v_j + W_t \right) / (1 + DI)^t \rightarrow \max_{x, y, W, r, \varphi, u, v} \end{aligned} \quad (7)$$

при таких ограничениях:

$$\sum_{-T_2 \leq t \leq T} \left(W_t - \sum_{j \in J} (ZI_j^t + ITCI_j^t)v_j \right) / (1 + DI)^t \geq 0, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sum_{1 \leq t \leq \omega} \left(\sum_{k \in K} ZE_k^t u_k + \sum_{j \in J} (ZI_j^t + ITCI_j^t)v_j - \sum_{i \in I} (CFP_i^t - ITCP_i^t)r_i^t \right. \\ \left. - \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} TP_{im}^t \varphi_{im} - W_t \right) \leq \sum_{1 \leq t \leq \omega} b_t^I, \quad \omega \in T, \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{t \in T} \left(\sum_{i \in I} (ZPP_i^t - EPP_i^t)z_i + \sum_{j \in J} (ZPI_j^t - EPI_j^t)(x_j + v_j) \right. \\ \left. + \sum_{k \in K} (ZPE_k^t + EDE_k^t)(y_k + u_k) \right) / (1 + DG)^t \geq 0, \quad (10) \end{aligned}$$

$$\sum_{m \in M} \varphi_{im} \leq r_i^T, \quad i \in I, \quad (11)$$

$$x_j + v_j \geq \mu_{ij} r_i^1, \quad i \in I, j \in J, \quad (12)$$

$$x_j + v_j \leq 1, \quad j \in J, \quad (13)$$

$$y_k + u_k \geq \nu_{ik} r_i^1, \quad i \in I, k \in K, \quad (14)$$

$$y_k + u_k \leq 1, \quad k \in K, \quad (15)$$

$$\sum_{i \in I} \nu_{ik} r_i^1 \geq y_k + u_k, \quad k \in K, \quad (16)$$

$$r_i^{t+1} \leq r_i^t, \quad i \in I, t \in T, \quad (17)$$

$$\sum_{t \in T} \left(\sum_{i \in I} DBP_i^t r_i^t - \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} TP_{im}^t \varphi_{im} - W_t \right) / (1 + DG)^t \geq 0, \quad (18)$$

$$\varphi_{im} \leq \bar{\varphi}_{im}, \quad i \in I, m \in M, \quad (19)$$

$$x_j \leq \bar{x}_j, \quad j \in J, \quad (20)$$

$$y_k \leq \bar{y}_k, \quad k \in K, \quad (21)$$

$$W_t \leq \bar{W}_t, \quad t \in T, \quad (22)$$

$$x_j, y_k, v_j, \varphi_{im}, r_i^t, u_k \in \{0, 1\}, \quad i \in I, k \in K, j \in J, t \in T. \quad (23)$$

В общем случае инвестору предоставляется возможность преждевременного завершения процесса освоения месторождения — ввод булевой переменной r_i^t позволяет фиксировать состояние процесса реализации проекта в году t ($r_i^t = 1$, если инвестор в момент t реализует производственный проект i). Перевать исполнение контракта можно только один раз (17), а налоговую льготу можно получить только в том случае, если

проект доведён до конца (11). Механизм страхования рисков неисполнения контрактов формализован в первых двух слагаемых (7) — инвестор на старте проекта создаёт контролируемый государством депозит с возможностью получить его с процентами, лишь не прервав проект до момента T .

Трансакционные издержки «до» появляются у государства (инвестора) в периоде от года $-T_1$ ($-T_2$) до базового года (когда никаких других издержек нет). С момента старта проектов трансакционные издержки «после» для государства воздействуют отрицательным образом на бюджетные доходы и увеличивают затраты на инфраструктурное строительство (1). ТИ «после» для инвестора уменьшают его проектное кэшфло и наращивают инфраструктурные затраты в той части проектов, которые инвестор взял на себя (8). Соответствующим образом это обстоятельство определяет вид бюджетного ограничения (9) и обязательство государства возместить понесённые инвестором инфраструктурные затраты с дисконтом (8).

2. Численный эксперимент

На сегодняшний день все известные в литературе примеры эффективных алгоритмов решения Σ_2^P -трудных задач работоспособны лишь для малых размерностей или при наличии специальной структуры задачи [21]. В нашем случае структура имеет самый общий вид, а размерность задачи инвестора существенно выросла по сравнению с предшествующими версиями модели. В этих условиях для решения задачи (1)–(23) применяется стохастический приближённый гибридный алгоритм, основанный на метаэвристиках и использующий оригинальный метод построения начального решения для стохастического локального подъёма [8].

База данных модели (1)–(23) формируется с помощью специализированных прогнозных моделей, позволяющих в достаточной степени детально описать процессы реализации проектов всех видов. На основе проектной документации для инфраструктурных и природоохранных проектов строятся графики затрат ZI_j^t и ZE_k^t . Для проектов освоения месторождений в моделях строятся прогнозы рыночных цен и объёмов реализации продукции. Прогнозы капитальных и эксплуатационных затрат всех видов генерируются на основе ТЭО проекта и фиксируют полный объём технологически необходимых затрат.

Трансакционные издержки меняют динамику расходов партнёров, начиная с момента появления ТИ, а страховые депозиты воздействуют на поток наличности инвестора в начале и конце периода освоения. Учёт этих обстоятельств позволяет корректно построить графики потоков наличности CFP_i^t и доходов бюджета DBP_i^t , в которых учтены все виды

налоговых платежей, технологических затрат, отражённых в ТЭО проекта, а также ТИ и издержек формирования страховых депозитов.

Для демонстрации методики использования описанного инструментария в работе строится специальный модельный полигон, прообразом которого является набор из 20 месторождений полиметаллических руд Забайкальского края. В примере реализуется 20 экологических и 10 инфраструктурных проектов (железная дорога, ЛЭП, автомобильные дороги), построенных таким образом, чтобы при реализации полной инфраструктурной и природоохранной программы все проекты освоения месторождений могли быть запущены. Для каждого из месторождений предусмотрена возможность использования льгот по налогу на прибыль в размере фиксированной доли региональной части налога.

Методика численного эксперимента основана на анализе изменения свойств решений задачи (1)–(23) при вариации основных параметров модели. К таким свойствам отнесены значения целевых функций государства и инвестора, число реализованных инфраструктурных проектов, характеристики реализованной инвестором программы освоения с выделением незавершённых проектов освоения месторождений, пропорции раздела затрат на реализацию природоохранных проектов между государством и инвестором, число производственных проектов, получивших налоговую льготу. Этот перечень позволяет экономически содержательно интерпретировать последствия выбранной экономической политики, определяющей, помимо инвестиционной и налоговой компоненты, механизмы страхования рисков неисполнения контрактов и уровень затрат государства на совершенствование институциональной инфраструктуры в минерально-сырьевом секторе. Благодаря таким данным становится возможным рационально сформировать политику освоения минерально-сырьевой базы на основе прогноза тенденций при изменении ключевых параметров модели.

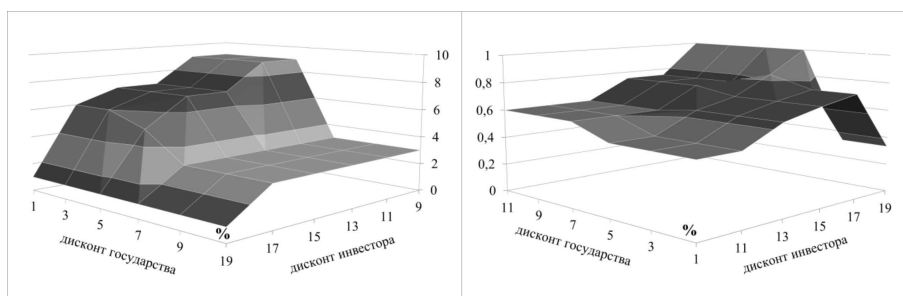


Рис. 1. Число незавершённых проектов освоения месторождений (слева) и их доля в числе запущенных инвестором проектов добычи полезных ископаемых

Что происходит, если предположить возможность разрыва контракта инвестором, как это сделано в модели (1)–(23)? В использованной базе данных побудительные мотивы такого поведения возникают у инвестора примерно в половине проектов освоения — в периоды низких цен добываемых металлов поток наличности здесь становится отрицательным. Если формально обязательство завершить начатый проект не закреплено (как было сделано в предшествующих версиях модели в [6–8]), то решение задачи двухуровневого математического программирования (1)–(23) позволяет оценить число не доведённых до конца проектов освоения в зависимости от дисконтов государства и инвестора (рис. 1).

Если в задаче (1)–(23) (модель А) положить строгое равенство в (17), то полученная модель (модель В) описывает партнёрство с заблокированной возможностью разрыва контрактов для инвестора. Сравнивая решения двух моделей, можно оценить воздействие оппортунистического поведения инвестора на значения целевых функций партнёров (рис. 2).

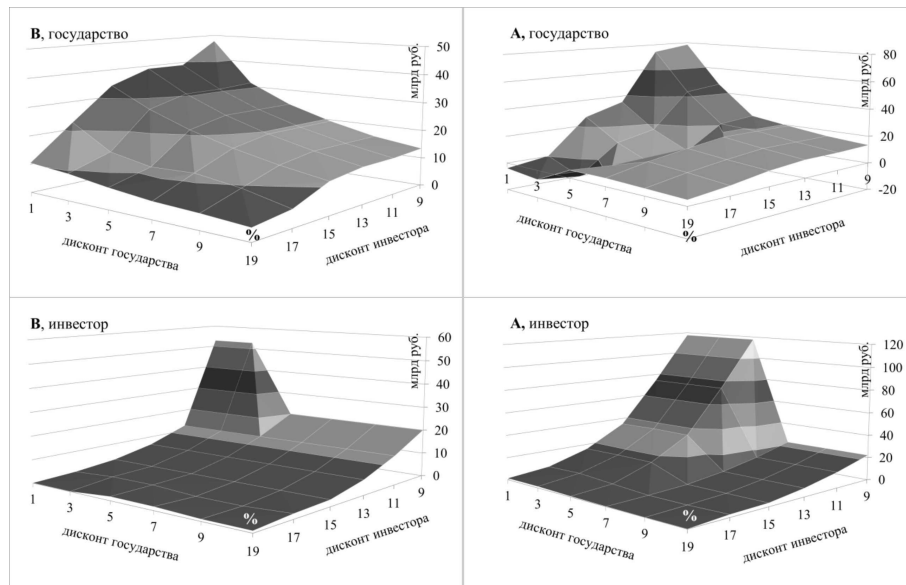


Рис. 2. Дисконты и функционалы партнёров: В — возможность разрывов контрактов заблокирована (слева), А — разрывы возможны

Видим, что в условиях хорошего инвестиционного климата (невысоком дисконте инвестора) и либерального государства, использующего малый дисконт, примерно в половине (9 из 20) проектов освоения месторождений инвестор, имеющий желание и возможность разорвать контракт, не доходит до стадии рекультивации территории. Такая «свобода»

позволяет ему расширить фронт инфраструктурного и производственного строительства и на этой основе достичь большего значения не только своего функционала, но и функционала государства (см. рис. 2).

При ухудшении условий инвестирования модель А для либерального государства теряет свои преимущества — резко сокращается фронт инфраструктурного и производственного строительства, снижается активность налоговой политики, падает функционал государства. Ужесточая инвестиционную политику (увеличивая дисконт в процессе принятия решения), государство при дисконте больше 5% добивается резкого снижения числа разрыва контрактов, но при этом доля незавершённых проектов нарастает из-за сокращения объёма привлекаемых инвестиций.

Что происходит, когда на аукционе по нераспределённому фонду государство начинает использовать механизм страхования рисков разрыва контракта, требуя от инвестора создания страховочного депозита в размере фиксированной доли рентной оценки месторождения?

На последующих рисунках представлены характеристики решения при вариации основных параметров механизма страхования — уровня депозита (размера депозита в процентах от рентной оценки месторождения) и его доходности в сопоставимых ценах. Значения дисконтов в расчётах зафиксированы на уровне 3 и 11 процентов для государства и инвестора соответственно. Это соответствует тому уровню либеральности государства, который мы видим на практике, и оптимистической оценке дисконта инвесторов, добывающих твёрдые полезные ископаемые в сегодняшних условиях российского минерально-сырьевого комплекса.

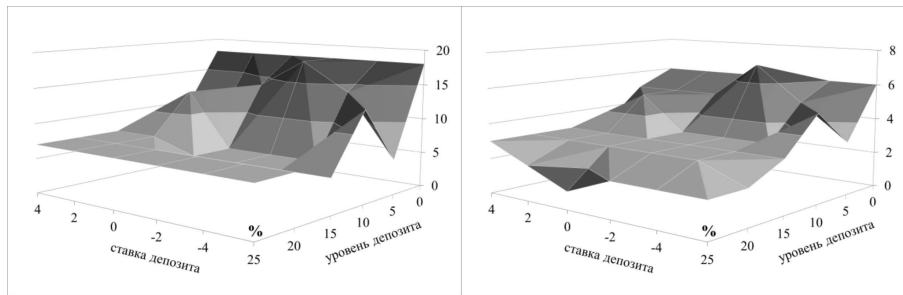


Рис. 3. Число производственных проектов, запущенных инвестором (слева), число инфраструктурных проектов, реализованных государством (справа)

С ростом уровня депозита инвестор сокращает фронт производственного строительства, а государство реализует всё меньше инфраструктурных проектов (рис. 3). Уже при пятипроцентном депозите оно вынуждено на четверть увеличить свою долю и взять на себя весь фронт инфраструктурного строительства.

Формально механизм страхования достигает своей цели — с ростом уровня депозита число незавершённых проектов снижается (рис. 4), но растёт доля незавершённых проектов освоения месторождений в числе запущенных инвестором.

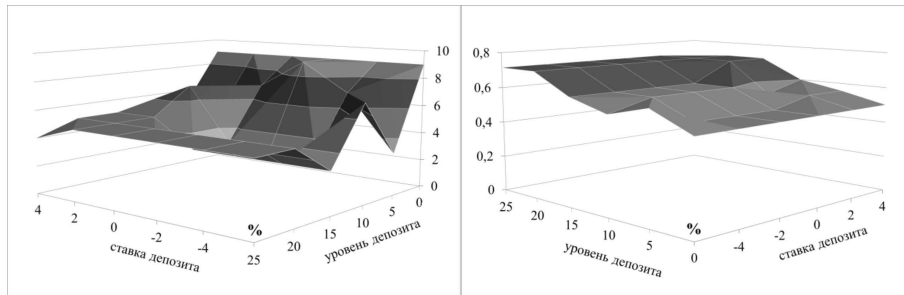


Рис. 4. Число незавершённых проектов освоения месторождений (слева) и их доля в числе запущенных инвестором проектов добычи полезных ископаемых

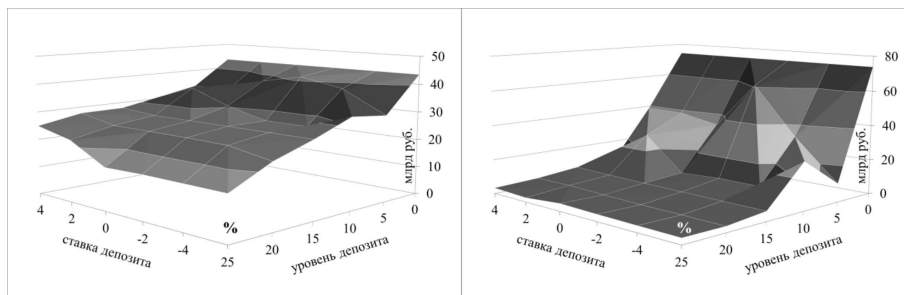


Рис. 5. Целевые функции государства (слева) и инвестора

В итоге значения целевых функций и государства, и инвестора падают с ростом уровня депозита (рис. 5). Рост ставки депозита существенно не влияет на эффективность механизма страхования, тем более, что обеспечить на долгосрочном горизонте положительную доходность в сопоставимых ценах — задача высокого уровня сложности.

Каким образом на формирование экономической политики влияют транзакционные издержки? Для ответа на этот вопрос в численном эксперименте отключим механизм страхования рисков разрыва контракта (уровень депозита равен 0) и будем изучать воздействие ТИ «до» и ТИ «после» на основные показатели эффективности выбранной стратегии развития. Для определённости предположим, что ТИ меняются в диапазоне от 0 до 5% от объёма капложений проекта. На рис. 6 представлена зависимость целевых функций государства и частного инвестора при различном соотношении ТИ «до» и ТИ «после».

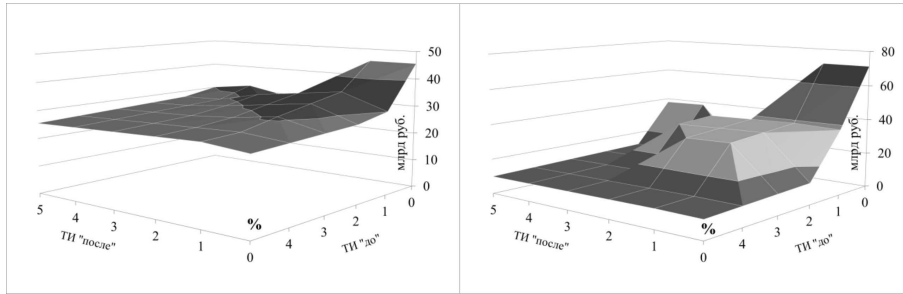


Рис. 6. Целевые функции государства (слева) и инвестора

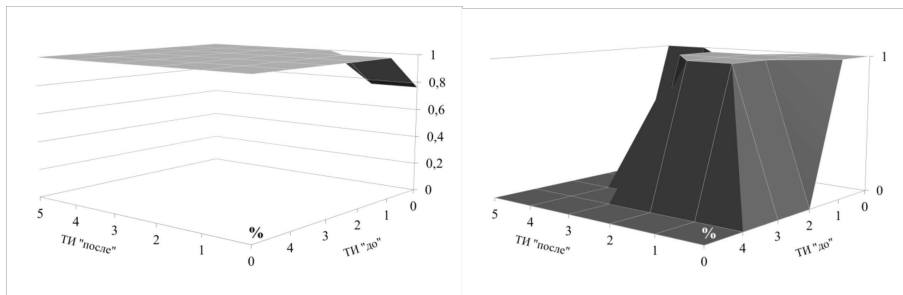


Рис. 7. Доля государства в затратах на инфраструктуру (слева) и число полученных инвестором льгот

Только при нулевых ТИ «до» и малых ТИ «после» экономическая политика использует все рычаги — государство, помимо строительства инфраструктуры, оказывает помощь инвестору в реализации природоохранных проектов, а инвестор берёт на себя часть затрат на инфраструктурные проекты (рис. 7). Льготы государство применяет для более широкого диапазона ТИ.

Как и механизм страхования, рост уровня ТИ сокращает число незавершённых проектов, но растёт доля незавершённых проектов освоения месторождений в числе запущенных инвестором (рис. 8).

3. Обсуждение полученных результатов

Дополнение модели формирования инвестиционной и налоговой политики блоком транзакционных издержек и механизмом страхования рисков разрыва контрактов позволяет на новом уровне подойти к проблемам стратегического планирования в ресурсном регионе. Расчёты показывают, что методы борьбы с оппортунистическим поведением инвестора, величина и распределение ТИ могут быть существенны и априори

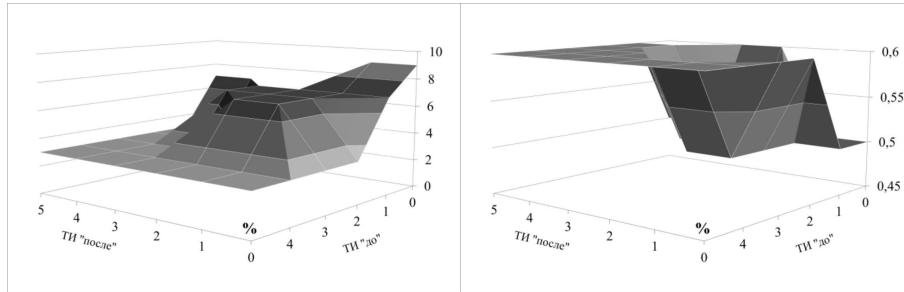


Рис. 8. Число незавершённых проектов освоения месторождений (слева) и их доля в числе запущенных инвестором проектов добычи полезных ископаемых

не очевидным образом оказывать воздействие и на эффективность производственных процессов, и на достижение баланса интересов.

Основные выводы, следующие из результатов моделирования, могут быть сформулированы следующим образом.

1. Использование механизмов страхования разрыва контрактов наиболее актуально в условиях неблагоприятного инвестиционного климата.
2. Механизм привязки размера страхового депозита к рентной оценке месторождения открывает возможность формирования баланса интересов государства и недропользователя.
3. Рациональный выбор экономических параметров механизма страхования требует детального учёта особенностей минерально-сырьевой базы и может быть осуществлён на основе предлагаемого подхода.
4. Трансакционные издержки выполняют роль «трения» в механизме сотрудничества инвестора и государства. Среди ТИ наибольший урон показателям эффективности партнёрства наносит рост ТИ «до».
5. Эффективность сотрудничества в процессе разработки комплекса месторождений на мало освоенных территориях зависит не только от общих макроэкономических условий, но и от обстоятельств, непосредственно с содержанием сотрудничества не связанных, таких, как качество государственного управления в природоресурсной сфере.

Результаты численных экспериментов для модели (1)–(23), приведённые выше, позволяют оценить лишь «чистое» воздействие таких факторов, как ТИ и механизм страхования рисков неисполнения контрактов. Проблемы российского МСК существенно шире — необходимо оценить комплексное воздействие всех факторов на эффективность сотрудничества. Важно исследовать комплементарность уже рассмотренных факторов экономической политики — инвестиций в инфраструктуру и охрану природы, налоговых льгот, институциональных преобразований, снижающих уровень трансакционных издержек, механизмов страхования рисков разрыва контракта с недропользователем. Здесь ещё много неясного,

требующего обширных компьютерных экспериментов. На их основе уже можно сформулировать методику практического использования разработанного модельного инструментария и получить рекомендации, позволяющие определить, в каких условиях предпочтительны те или иные экономические рычаги воздействия на частного инвестора и как рационально компоновать их в согласованную экономическую политику.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Marshall G. R.** Transaction costs, collective action and adaptation in managing socio-economic system // *Ecol. Econ.* 2013. V. 88. P. 185–194.
2. **Ostrom E.** A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems // *Science.* 2009. V. 325, No. 5939. P. 419–422.
3. **Glazyrina I., Lavlinskii S. M.** Transaction costs and problems in the development of the mineral and raw-material base of the resource region // *J. New Econ. Assoc.* 2018. V. 38, No. 2. P. 121–143.
4. **Лавлинский С. М., Панин А. А., Плясунов А. В.** Двухуровневая модель планирования государственно-частного партнерства // *Автоматика и телемеханика.* 2015. № 11. P. 89–103.
5. **Lavlinskii S. M., Panin A. A., Plyasunov A. V.** Stackelberg model and public-private partnerships in the natural resources sector of Russia // *Mathematical Optimization Theory and Operations Research. Proc. 18th Int. Conf. (Yekaterinburg, Russia, July 8–12, 2019).* Cham: Springer, 2019. P. 158–171. (Lect. Notes Comput. Sci.; V. 11548).
6. **Лавлинский С. М., Панин А. А., Плясунов А. В.** Модели Штакельберга в территориальном планировании // *Автоматика и телемеханика.* 2019. № 2. С. 111–124.
7. **Lavlinskii S. M., Panin A. A., Plyasunov A. V.** Bilevel models for investment policy in resource-rich regions // *Mathematical Optimization Theory and Operations Research. Rev. Sel. Pap. 19th Int. Conf. (Novosibirsk, Russia, July 6–10, 2020).* Cham: Springer, 2020. P. 36–50. (Commun. Comput. Inf. Sci.; V. 1275).
8. **Lavlinskii S. M., Panin A. A., Plyasunov A. V.** Bilevel models for socially oriented strategic planning in the natural resources sector // *Mathematical Optimization Theory and Operations Research: Recent Trends. Rev. Sel. Pap. 20th Int. Conf. (Irkutsk, Russia, July 5–10, 2021).* Cham: Springer, 2021. P. 358–371. (Commun. Comput. Inf. Sci.; V. 1476).
9. **Lakshmanan T. R.** The broader economic consequences of transport infrastructure investments // *J. Transp. Geogr.* 2011. V. 19, No. 1. P. 1–12.
10. **Mackie P., Worsley T., Eliasson J.** Transport appraisal revisited // *Res. Transp. Econ.* 2014. V. 47. P. 3–18.
11. **Резниченко Н. В.** Модели государственно-частного партнёрства // *Вестн. Санкт-Петербург. ун-та. Сер. 8. Менеджмент.* 2010. № 4. С. 58–83.
12. **Quiggin J.** Risk, PPPs and the public sector comparator // *Austral. Account. Rev.* 2004. V. 14, No. 33. P. 51–61.

13. **Grimsey D., Levis M. K.** Public private partnerships: The worldwide revolution in infrastructure provision and project finance. Cheltenham: Edward Elgar, 2004.
14. **Lavlinskii S. M.** Public-private partnership in a natural resource region: ecological problems, models, and prospects // *Stud. Russ. Econ. Dev.* 2010. V. 21, No. 1. P. 71–79.
15. **Лавлинский С. М., Панин А. А., Плясунов А. В.** Сравнение моделей планирования государственно-частного партнёрства // *Дискрет. анализ и исслед. операций.* 2016. Т. 23, № 3. С. 35–60.
16. **Lavlinskii S. M., Panin A. A., Plyasunov A. V.** Public-private partnership models with tax incentives: Numerical analysis of solutions // *Optimization Problems and Their Applications. Rev. Sel. Pap. 7th Int. Conf. (Omsk, Russia, July 8–14, 2018).* Cham: Springer, 2018. P. 220–234. (*Commun. Comput. Inf. Sci.*; V. 871).
17. **Holmstrom B., Milgrom P.** Multitask principal-agent analyses: Incentive contracts, asset ownership, and job design // *J. Law Econ. Organ.* 1991. V. 7, Spec. P. 24–52.
18. **Hart O.** Firms, contracts, and financial structure. Oxford: Clarendon Press, 1995.
19. **Bolton P., Dewatripont M.** Contract theory. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.
20. **Mazalov V. V.** Mathematical game theory and applications. Oxford: John Wiley & Sons, 2014.
21. **Dempe S. J.** Foundations of bilevel programming. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2002.

Лавлинский Сергей Михайлович
Панин Артём Александрович
Плясунов Александр Владимирович

Статья поступила
5 мая 2022 г.
После доработки —
5 мая 2022 г.
Принята к публикации
6 мая 2022 г.

A MODEL OF ECONOMIC POLICY MAKING
WITH TRANSACTION COSTS AND BREACH-OF-CONTRACT
RISK INSURANCE*S. M. Lavlinskii*^a, *A. A. Panin*^b, and *A. V. Plyasunov*^cSobolev Institute of Mathematics,
4 Acad. Koptuyg Avenue, 630090 Novosibirsk Russia
E-mail: ^alavlin@math.nsc.ru, ^baapanin1988@gmail.com,
^capljas@math.nsc.ru

Abstract. This article continues the authors' research into cooperation between public and private investors in a resource region. In contrast with previous works, an attempt is made here to take into account the institutional features of the process of forming the investment climate. For this, transaction costs are introduced into the model and a mechanism for breach-of-contract risk insurance is formed. In the Russian mineral resource complex, costs and risks of this kind can be very significant. This work aims to analyze the partnership mechanisms, taking into account these circumstances and using the game-theoretical Stackelberg model. Such mechanisms determine the economic policy of the government and play an important role in stimulating private investment. The model is formulated as a bilevel mathematical programming problem. Effective solution algorithms based on metaheuristics are developed. This makes possible the practical studying the properties of Stackelberg equilibrium on the real data. The equilibrium determine the design of the mechanism of economic policy making, fully meeting the interests of society. Illustr. 8, bibliogr. 21.

Keywords: stochastic local search, Stackelberg game, bilevel mathematical programming problems, strategic planning, investment climate, transaction costs, breach-of-contract risk insurance.

The authors are grateful to professor V. V. Mazalov for the idea to use the approaches of the theory of incomplete contracts in the model. This research is carried out within the framework of the state contract of the Sobolev Institute of Mathematics (Project FWNF–2022–0019) and is supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project 20–010–00151).

English version: Journal of Applied and Industrial Mathematics **16** (3) (2022).

REFERENCES

1. **G. R. Marshall**, Transaction costs, collective action and adaptation in managing socio-economic system, *Ecol. Econ.* **88**, 185–194 (2013).
2. **E. Ostrom**, A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems, *Science* **325** (5939), 419–422 (2009).
3. **I. Glazyrina** and **S. M. Lavlinskii**, Transaction costs and problems in the development of the mineral and raw-material base of the resource region, *J. New Econ. Assoc.* **38** (2), 121–143 (2018).
4. **S. M. Lavlinskii**, **A. A. Panin**, and **A. V. Plyasunov**, A bilevel planning model for public-private partnership, *Avtom. Telemekh.*, No. 11, 89–103 (2015) [Russian] [*Autom. Remote Control* **76** (11), 1976–1987 (2015)].
5. **S. M. Lavlinskii**, **A. A. Panin**, and **A. V. Plyasunov**, Stackelberg model and public-private partnerships in the natural resources sector of Russia, in *Mathematical Optimization Theory and Operations Research* (Proc. 18th Int. Conf., Yekaterinburg, Russia, July 8–12, 2019) (Springer, Cham, 2019), pp. 158–171 (Lect. Notes Comput. Sci., Vol. 11548).
6. **S. M. Lavlinskii**, **A. A. Panin**, and **A. V. Plyasunov**, The Stackelberg models in territorial planning, *Avtom. Telemekh.*, No. 2, 111–124 (2019) [Russian] [*Autom. Remote Control* **80** (2), 286–296 (2019)].
7. **S. M. Lavlinskii**, **A. A. Panin**, and **A. V. Plyasunov**, Bilevel models for investment policy in resource-rich regions, in *Mathematical Optimization Theory and Operations Research* (Rev. Sel. Pap. 19th Int. Conf., Novosibirsk, Russia, July 6–10, 2020) (Springer, Cham, 2020), pp. 36–50 (Commun. Comput. Inf. Sci., Vol. 1275).
8. **S. M. Lavlinskii**, **A. A. Panin**, and **A. V. Plyasunov**, Bilevel models for socially oriented strategic planning in the natural resources sector, in *Mathematical Optimization Theory and Operations Research: Recent Trends* (Rev. Sel. Pap. 20th Int. Conf., Irkutsk, Russia, July 5–10, 2021) (Springer, Cham, 2021), pp. 358–371 (Commun. Comput. Inf. Sci., Vol. 1476).
9. **T. R. Lakshmanan**, The broader economic consequences of transport infrastructure investments, *J. Transp. Geogr.* **19** (1), 1–12 (2011).
10. **P. Mackie**, **T. Worsley**, and **J. Eliasson**, Transport appraisal revisited, *Res. Transp. Econ.* **47**, 3–18 (2014).
11. **N. V. Reznichenko**, Models for public-private partnership, *Vestn. Sankt-Peterburg. Univ., Ser. 8. Menedzh.*, No. 4, 58–83 (2010) [Russian].
12. **J. Quiggin**, Risk, PPPs and the public sector comparator, *Austral. Account. Rev.* **14** (33), 51–61 (2004).
13. **D. Grimsey** and **M. K. Levis**, *Public Private Partnerships: The Worldwide Revolution in Infrastructure Provision and Project Finance* (Edward Elgar, Cheltenham, 2004).
14. **S. M. Lavlinskii**, Public-private partnership in a natural resource region: ecological problems, models, and prospects, *Stud. Russ. Econ. Dev.* **21** (1), 71–79 (2010).

15. **S. M. Lavlinskii, A. A. Panin, and A. V. Plyasunov**, Comparison of models of planning public-private partnership, *Diskretn. Anal. Issled. Oper.* **23** (3), 35–60 (2016) [Russian] [*J. Appl. Ind. Math.* **10** (3), 356–369 (2016)].
16. **S. M. Lavlinskii, A. A. Panin, and A. V. Plyasunov**, Public-private partnership models with tax incentives: Numerical analysis of solutions, in *Optimization Problems and Their Applications* (Rev. Sel. Pap. 7th Int. Conf., Omsk, Russia, July 8–14, 2018) (Springer, Cham, 2018), pp. 220–234 (Commun. Comput. Inf. Sci., Vol. 871).
17. **B. Holmstrom and P. Milgrom**, Multitask principal-agent analyses: Incentive contracts, asset ownership, and job design, *J. Law Econ. Organ.* **7** (Spec.), 24–52 (1991).
18. **O. Hart**, *Firms, Contracts, and Financial Structure* (Clarendon Press, Oxford, 1995).
19. **P. Bolton and M. Dewatripont**, *Contract Theory* (MIT Press, Cambridge, MA, 2005).
20. **V. V. Mazalov**, *Mathematical Game Theory and Applications* (John Wiley & Sons, Oxford, 2014).
21. **S. J. Dempe**, *Foundations of Bilevel Programming* (Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 2002).

Sergey M. Lavlinskii
Artem A. Panin
Aleksandr V. Plyasunov

Received May 5, 2022
Revised May 5, 2022
Accepted May 6, 2022