

МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГОСУДАРСТВА И ЧАСТНОГО ИНВЕСТОРА В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ РОССИИ

С. М. Лавлинский, А. А. Панин, А. В. Плясунов

Институт математики СО РАН

УДК 519.87

Статья посвящена анализу проблем формирования эффективного механизма взаимодействия государства и частного инвестора на малоосвоенной ресурсной территории. В центре внимания – модель партнерства, основанная на игре Штакельберга и решении двухуровневой задачи целочисленного программирования. В работе формулируется обобщенный вариант модели в нестационарной постановке, учитывающий возможность использования всех рычагов взаимодействия государства и частного инвестора и генерирующий расписание моментов запуска отдельных проектов. Модели такого вида в наибольшей степени востребованы практикой территориального планирования и могут быть применены для решения стратегических задач управления ресурсным регионом. Методика использования такого подхода демонстрируется на примере Забайкалья. Для него строится программа освоения группы месторождений полиметаллов, и исследуются свойства равновесных решений.

Ключевые слова: игра Штакельберга, двухуровневые задачи математического программирования, государственно-частное партнерство, программа освоения минерально-сырьевой базы.

Значительная часть проблем, связанных с освоением природных ресурсов на малоосвоенных территориях РФ, концентрируется в области разработки механизма согласования долгосрочных интересов государства и частного инвестора. Такой механизм должен обеспечить инвестиционную привлекательность, бюджетные поступления и соблюдение экологических ограничений в процессе социально-экономического развития территории.

Государственно-частное партнерство (ГЧП) широко используется в мире и является эффективным инструментом достижения компромисса интересов в различных сферах экономики. Мировой опыт демонстрирует успешность использования механизма ГЧП, прежде всего, для создания новой и поддержания существующей инфраструктуры общественного сектора. В минерально-сырьевом комплексе государственно-частное партнерство позволяет существенно расширить источники финансирования проектов, заинтересовать недропользователей в освоении новых месторождений в труднодоступных районах.

В России положение дел с развитием ГЧП в минерально-сырьевом комплексе следует признать неудовлетворительным. Так, характерной здесь является ситуация, когда инвестор не может реализовать инвестиционный проект, поскольку для этого нет необходимой инфраструктуры, а государство не хочет вкладывать деньги в инфраструктуру, пока нет уверенно-

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-06-00046, 16-07-00319) и Российского гуманитарного научного фонда (коды проектов 16-02-00049, 16-02-00102).

сти в том, что эта инфраструктура будет загружена. Практические примеры решения этой проблемы в российских условиях немногочисленны, не очень успешны и говорят о необходимости создания специального экономико-математического инструментария для поддержки процесса разработки эффективной модели ГЧП.

Эта проблема находится в центре внимания настоящей работы. Основная цель – разработка экономико-математических моделей формирования эффективного механизма партнерства, основанных на теоретико-игровой модели Штакельберга и решении двухуровневых задач булевого программирования. Такой подход позволяет найти компромисс экономических интересов и обеспечивает эффективность в долгосрочном плане не только частным инвесторам, но и государству, ставящему перед собой задачу стратегического управления минерально-сырьевым комплексом.

Настоящая работа продолжает исследования авторов [1, 2], где рассматривались стационарные модели формирования ГЧП, в которых помощь государства включала инвестиции на развитие инфраструктуры, финансирование части компенсирующих природоохранных мероприятий, и налоговые льготы, а моменты запуска проектов всех видов были заданы на входе. В настоящей статье формулируется обобщенный вариант модели в нестационарной постановке, учитывающий возможность использования всех рычагов взаимодействия государства и частного инвестора и генерирующий расписание моментов запуска отдельных проектов. Модели такого вида в наибольшей степени востребованы практикой территориального планирования и могут быть использованы для решения стратегических задач управления ресурсным регионом.

1. Концептуальная модель взаимодействия государства и частного инвестора в минерально-сырьевом секторе. В условиях малоосвоенной ресурсной территории главенствующую роль в партнерстве должно играть государство – именно оно должно сделать первые шаги, создающие достаточные стимулы для прихода недропользователей. В самом общем случае государство в рамках ГЧП может оказать помощь потенциальному инвестору по трем направлениям:

1. Создание необходимой инфраструктуры;
2. Реализация части необходимых природоохранных мероприятий;
3. Налоговые льготы.

Таким образом, проблема разработки эффективной модели ГЧП сводится к задаче поиска пропорций использования всех трех вышеупомянутых рычагов государственной помощи инвестору – прямых государственных инвестиций на развитие инфраструктуры, финансирования части компенсирующих природоохранных мероприятий и использования налоговых льгот. Конкретная комбинация вышеперечисленных инструментов воздействия государства на экономику проекта и фиксированная схема проектного финансирования во многом определяют и уровень рентабельности для инвестора, и долю природно-ресурсной ренты, которую получает государство в виде налоговых платежей. Механизм партнерства эффективен, если достигнут компромисс интересов в паре «государство-инвестор», выражающийся в том, что инвестор в проекте достигает нужного уровня рентабельности, а государство получает возможно большую часть ренты как части стоимости, созданной природой.

Такова общая схема концептуальной модели ГЧП в минерально-сырьевом секторе России, которая содержательно естественным образом вкладывается в философию двухуровневого программирования. Процедура взаимодействия «лидер-ведомый», положенная в

основу модели Штакельберга, в наибольшей степени подходит для условий рыночной экономики и малоосвоенной ресурсной территории, где роль лидера в партнерстве отведена государству, своими действиями создающему дополнительные стимулы для прихода инвесторов. В соответствии с этим и строится задача лидера, в которой государство принимает решение, основываясь на своих бюджетных ограничениях и рациональном ответе частного инвестора, стремящегося максимизировать свой доход.

2. Постановка задачи. Стационарные варианты модели взаимодействия государства и частного инвестора, сформулированные в виде двухуровневой задачи булевого линейного программирования [1,2], предполагают использование всех трех вышеупомянутых рычагов государственной помощи инвестору. В этих моделях моменты старта проектов задаются на входе, а государство избирательно дает льготы и берет на себя часть необходимой инфраструктуры, а также фиксированный перечень природоохранных проектов, компенсирующих негативные экологические последствия процессов освоения месторождений.

В настоящей статье исходная модель усложняется и исследуется переход к нестационарной постановке, в рамках которой на выходе модели мы получаем расписание, фиксирующее для каждого из участников партнерства моменты запусков проектов всех видов. Такая постановка наиболее точно учитывает особенности функционирования сырьевой территории и может быть использована в качестве базового инструментария стратегического планирования.

Постановка нестационарной модели планирования, сформулированной в виде задачи двухуровневого булевого программирования и генерирующей оптимальный механизм взаимодействия частного инвестора и государства, может быть представлена следующим образом.

На входе модели:

- набор инвестиционных проектов, реализуемых частным инвестором, моменты запуска и конкретную конфигурацию которых инвестор выбирает в зависимости от получаемых налоговых льгот и того, что предлагает государство в области инфраструктурного строительства;
- набор инфраструктурных проектов, реализуемых государством, конкретный перечень которых и моменты запуска государство выбирает, исходя из своих оценок эффективности с точки зрения перспектив долгосрочного развития территории;
- перечень экологических проектов, необходимых для компенсации экологических потерь, вызванных реализацией инвестиционных проектов; конкретный раздел обязательств по реализации экологических проектов между частным инвестором и государством на входе не определен и должен быть получен на выходе модели.

Выход модели – расписание старта проектов всех видов, перечень налоговых преференций и механизм раздела затрат в процессе реализации инфраструктурных и экологических проектов между государством и инвестором.

Введем следующие обозначения: NP , NI , NE – число производственных, инфраструктурных и экологических проектов, T – временной горизонт планирования, $i=1, \dots, NP$, $j=1, \dots, NI$, $k=1, \dots, NE$, $t=1, \dots, T$, $\tau=1, \dots, T$.

Булевы переменные:

$z_{i\tau} = 1$, если инвестор в году τ запускает производственный проект i , и $z_{i\tau} = 0$ в противном случае;

$x_{j\tau} = 1$, если государство в году τ запускает инфраструктурный проект j , $x_{j\tau} = 0$ в противном случае;

$\bar{y}_{k\tau} = 1$, если государство в году τ готово запустить экологический проект k , и $\bar{y}_{k\tau} = 0$ в противном случае;

$y_{k\tau} = 1$, если государство в году τ запускает экологический проект k , и $y_{k\tau} = 0$ в противном случае;

$u_{k\tau} = 1$, если инвестор в году τ запускает экологический проект k , $u_{k\tau} = 0$ в противном случае,.

φ_{im} – индикатор уровня льготирования i -ого производственного проекта, равный единице, если для i -ого производственного проекта государством установлена льгота уровня m , и 0 в противном случае, $m = 1, \dots, NTP$, NTP – число уровней льготирования.

Производственные проекты:

$CFP_{i\tau}^t$ – кэшфло производственного проекта i , стартовавшего в году τ .

$EPP_{i\tau}^t$ – стоимостная оценка экологических потерь при реализации производственного проекта i , стартовавшего в году τ .

$DBP_{i\tau}^t$ – доходы бюджета от реализации производственного проекта i , стартовавшего в году τ .

$ZPP_{i\tau}^t$ – зарплата, выплачиваемая в ходе реализации производственного проекта i , стартовавшего в году τ .

$TP_{im\tau}^t$ – налоговая льгота уровня m по проекту i , стартовавшему в году τ , в году t .

Инфраструктурные проекты:

$ZI_{j\tau}^t$ – затраты на реализацию инфраструктурного проекта j , стартовавшего в году τ .

$EPI_{j\tau}^t$ – стоимостная оценка экологических потерь при реализации инфраструктурного проекта j , стартовавшего в году τ .

$VDI_{j\tau}^t$ – внепроектные доходы бюджета от реализации инфраструктурного проекта j , стартовавшего в году τ , связанные с общим развитием экономики территории.

$ZPI_{j\tau}^t$ – зарплата, выплачиваемая в ходе реализации инфраструктурного проекта j , стартовавшего в году τ .

Экологические проекты

$ZE_{k\tau}^t$ – график затрат на реализацию экологического проекта k , стартовавшего в году τ .

$EDE_{k\tau}^t$ – стоимостная оценка экологического дохода при реализации экологического проекта k , стартовавшего в году τ .

$ZPE_{k\tau}^t$ – зарплата, выплачиваемая в ходе реализации экологического проекта k , стартовавшего в году τ .

Взаимосвязь проектов

μ_{ij} – индикатор технологической связности производственных и инфраструктурных проектов, равный 1, если для реализации производственного проекта i необходима реализация инфраструктурного проекта j , и равный 0 в противоположном случае.

V_{ik} – индикатор связности производственных и экологических проектов, равный 1, если реализация производственного проекта i влечет необходимость реализации экологического проекта k , и равный 0 в противном случае.

Дисконты и бюджетные ограничения

DG – дисконт государства, DI – дисконт инвестора.

$BudG$, $BudI$ – бюджетные ограничения государства и инвестора, заданные на весь период.

Нестационарная постановка модели взаимодействия государства и частного инвестора на основе сформулированных принципов ГЧП может быть представлена следующим образом.

Задача государства: максимизировать дисконтированный поток наличности государства:

$$\begin{aligned} & \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^{NP} \sum_{\tau=1}^T (DBP_{i\tau}^t - \Phi_{i\tau}^t + ZPP_{i\tau}^t - EPP_{i\tau}^t) z_{i\tau} + \sum_{j=1}^{NI} \sum_{\tau=1}^T (VDI_{j\tau}^t + ZPI_{j\tau}^t - EPI_{j\tau}^t - ZI_{j\tau}^t) x_{j\tau} + \right. \\ & \left. \sum_{k=1}^{NE} \sum_{\tau=1}^T (EDE_{k\tau}^t + ZPE_{k\tau}^t - ZE_{k\tau}^t) y_{k\tau} + \sum_{k=1}^{NE} \sum_{\tau=1}^T (EDE_{k\tau}^t + ZPE_{k\tau}^t) u_{k\tau} \right) / (1 + DG)^t \Rightarrow \max \end{aligned} \quad (1)$$

при условиях

$$\sum_{m=1}^{NTP} \varphi_{im} \leq 1, \quad i=1, \dots, NP, \quad (2)$$

$$\Phi_{i\tau}^t = \sum_{m=1}^{NTP} \varphi_{im} TP_{im\tau}^t, \quad i=1, \dots, NP, \quad t=1, \dots, T, \quad \tau=1, \dots, T, \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^{NI} \sum_{\tau=1}^T ZI_{j\tau}^t x_{j\tau} + \sum_{k=1}^{NE} \sum_{\tau=1}^T ZE_{k\tau}^t \bar{y}_{k\tau} \right) \leq BudG, \quad t=1, \dots, T, \quad (4)$$

$$\sum_{\tau=1}^T x_{j\tau} \leq 1, \quad j=1, \dots, NI, \quad (5)$$

$$\sum_{\tau=1}^T \bar{y}_{k\tau} \leq 1, \quad k=1, \dots, NE, \quad (6)$$

$$x_{j\tau}, \bar{y}_{k\tau}, \varphi_{im} \in \{0; 1\}, \quad i=1, \dots, NP, \quad j=1, \dots, NI, \quad k=1, \dots, NE, \quad m=1, \dots, NTP, \quad \tau=1, \dots, T, \quad (7)$$

где $(y, z, u) \in F^*(x, \bar{y}, \varphi)$ – решение следующей задачи инвестора.

Задача инвестора. Инвестор максимизирует свой суммарный чистый приведенный доход:

$$\sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^{NP} \sum_{\tau=1}^T (CFP_{i\tau}^t + \Phi_{i\tau}^t) z_{i\tau} - \sum_{k=1}^{NE} \sum_{\tau=1}^T ZE_{k\tau}^t u_{k\tau} \right) / (1 + DI)^t \Rightarrow \max \quad (8)$$

при условиях

$$\sum_{\tau=1}^T x_{j\tau} \geq \sum_{\tau=1}^T z_{i\tau} \mu_{ij}, \quad i=1, \dots, NP, \quad j=1, \dots, NI, \quad (9)$$

$$\sum_{\tau=1}^T (y_{k\tau} + u_{k\tau}) \geq \sum_{\tau=1}^T z_{i\tau} V_{ik}, \quad i=1, \dots, NP, \quad k=1, \dots, NE, \quad (10)$$

$$\sum_{\tau=1}^T (y_{k\tau} + u_{k\tau}) \leq 1, \quad k=1, \dots, NE, \quad (11)$$

$$\sum_{\tau=1}^T u_{k\tau} \leq 1, \quad k=1, \dots, NE, \quad (12)$$

$$\sum_{\tau=1}^T z_{i\tau} \leq 1, \quad i=1, \dots, NP, \quad (13)$$

$$v_{ik} \sum_{\tau=1}^T (y_{k\tau} + u_{k\tau}) \leq \sum_{\tau=1}^T z_{i\tau}, \quad i=1, \dots, NP, k=1, \dots, NE, \quad (14)$$

$$y_{k\tau} \leq \bar{y}_{k\sigma}, \quad k=1, \dots, NE, \quad (15)$$

$$\sum_{\tau=1}^T \tau z_{i\tau} - \sum_{\tau=1}^T \tau x_{j\tau} \geq \psi_{ij}, \quad \text{для } i, j \text{ таких, что } \mu_{ij}=1, \quad (16)$$

$$\theta_{ik} \geq \sum_{\tau=1}^T \tau z_{i\tau} - \sum_{\tau=1}^T \tau (y_{k\tau} + u_{k\tau}) \geq \gamma_{ik}, \quad \text{для } i, k \text{ таких, что } v_{ik}=1, \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^T \left(\sum_{k=1}^{NE} \sum_{\tau=1}^T Z E_{k\tau}^t u_{k\tau} - \sum_{i=1}^{NP} \sum_{\tau=1}^T (CFP_{i\tau}^t + \Phi_{i\tau}^t) z_{i\tau} \right) \leq BudI, \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^T \left(\sum_{i=1}^{NP} \sum_{\tau=1}^T (ZPP_{i\tau}^t - EPP_{i\tau}^t) z_{i\tau} + \sum_{j=1}^{NI} \sum_{\tau=1}^T (ZPI_{j\tau}^t - EPI_{j\tau}^t) x_{j\tau} + \right. \quad (19)$$

$$\left. \sum_{k=1}^{NE} \sum_{\tau=1}^T (EDE_{k\tau}^t + ZPE_{k\tau}^t)(y_{k\tau} + u_{k\tau}) \right) / (1 + DG)^t \geq 0.$$

$$z_{i\tau}, u_{k\tau}, y_{k\tau} \in \{0; 1\}, \quad i=1, \dots, NP, k=1, \dots, NE, \tau = 1, \dots, T. \quad (20)$$

В сформулированной модели государство максимизирует аналог чистого дисконтированного дохода от реализации всей программы освоения, при этом целевая функция строится с учетом интересов населения и учитывает экономический выигрыш от появления новых рабочих мест и сопутствующие этому экологические потери. Ограничения (9–10) фиксируют взаимосвязь производственных, инфраструктурных и экологических проектов. Каждый экологический проект может быть запущен только одним из партнеров (11) с учетом выбора государства (15) и должен быть необходим для реализации какого-либо производственного (14). Бюджеты государства и инвестора накладывают ограничения вида (4) и (18) на возможный к выполнению набор проектов. Интересы населения отражены в ограничении (19), фиксирующем целесообразность программы освоения территории с точки зрения баланса получаемых благ и потерь для жителей.

Механизм раздела затрат в процессе реализации экологических проектов между государством и инвестором учитывает оптимальную реакцию инвестора. Именно это обстоятельство превращает данную постановку в задачу двухуровневого программирования. Множество $F^*(x, \bar{y}, \varphi)$ является множеством оптимальных решений параметрической задачи инвестора. В качестве параметров выступает множество выбранных государством инфраструктурных проектов – x , экологических проектов, реализацию которых оно готово взять на себя – \bar{y} , и перечень адресных налоговых преференций для производственных проектов φ .

Бюджетные ограничения (4), (18) в этой постановке задаются на весь период, а временная взаимосвязь проектов различного вида описывается в (16) и (17) с учетом того обстоятельства, что, в общем случае, производственный проект может быть начат ранее момента завершения инфраструктурного, а экологический – в некотором диапазоне момента завершения производственного. Возможные взаимные сдвиги моментов старта проектов задаются следующими параметрами:

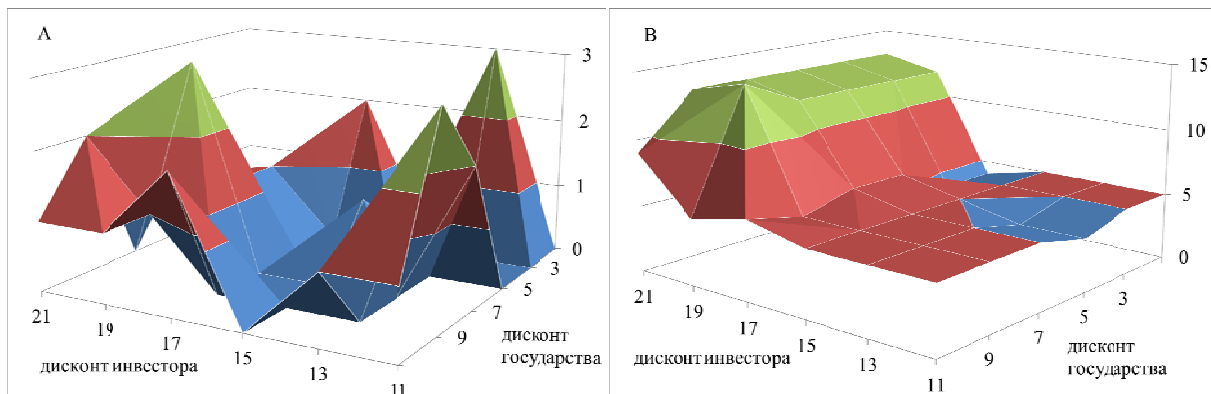


Рис. 1. Число экологических проектов, реализованных государством в двухуровневой (А) и одноуровневой (В) постановках

Ψ_{ij} – матрица взаимного временного лага производственных и инфраструктурных проектов, фиксирующая минимальное число лет, разделяющее год старта производственного и год старта задействованного инфраструктурного проекта;

γ_{il}, θ_{il} – матрицы взаимного временного лага производственных и экологических проектов, фиксирующие минимальное и максимальное число лет, разделяющее год старта производственного и год старта задействованного экологического проекта.

3. Численный эксперимент. Для демонстрации методики использования описанного инструментария в работе строится специальный модельный полигон, прообразом которого является набор месторождений полиметаллических руд Забайкальского края. Для него строится набор инфраструктурных проектов, часть из которых уже реализуется (железная дорога, ЛЭП), а другие восполняют отсутствующую на сегодня, но необходимую с учетом проектов освоения месторождений инфраструктуру (ЛЭП, автомобильные дороги). Для каждого из месторождений набор компенсирующих природоохранных мероприятий интегрировался в соответствующий комплексный экологический проект.

Таким способом разработанный модельный полигон позволяет учесть специфику моделируемого объекта и создает информационную базу для изучения свойств равновесия по Штакельбергу. Методика такого исследования основана на анализе чувствительности решений соответствующей двухуровневой задачи булевого программирования к изменению основных параметров модели. Этот вопрос принципиально важен, прежде всего, потому, что для многих параметров модели известны лишь рабочие диапазоны значений. Так, в процессе формирования программы освоения недр эксперт располагает лишь данными проектов, а значительная часть параметров, таких как дисконты участников партнерства, экологические затраты и потери, могут быть оценены им лишь приближенно.

При некоторых предположениях относительно возможностей государства исходная постановка задачи планирования (1–20) может быть существенно упрощена и сведена к одноуровневой задаче математического программирования. Это возможно, если государство в той или иной форме получает контроль за ресурсами инвестора. Тогда модель трансформируется в задачу булева программирования с переменными $z_{it}, u_{kt}, y_{kt}, x_{jt} \in \{0, 1\}$ (переменные \bar{y}_{kt} в исходной постановке превращаются в y_{kt}), целевой функцией государства (1) и ограничениями (2)–(7), (9)–(14), (16)–(20). Такая одноуровневая постановка в большей степени описывает экономику с доминирующей ролью государства в минерально-сырьевом

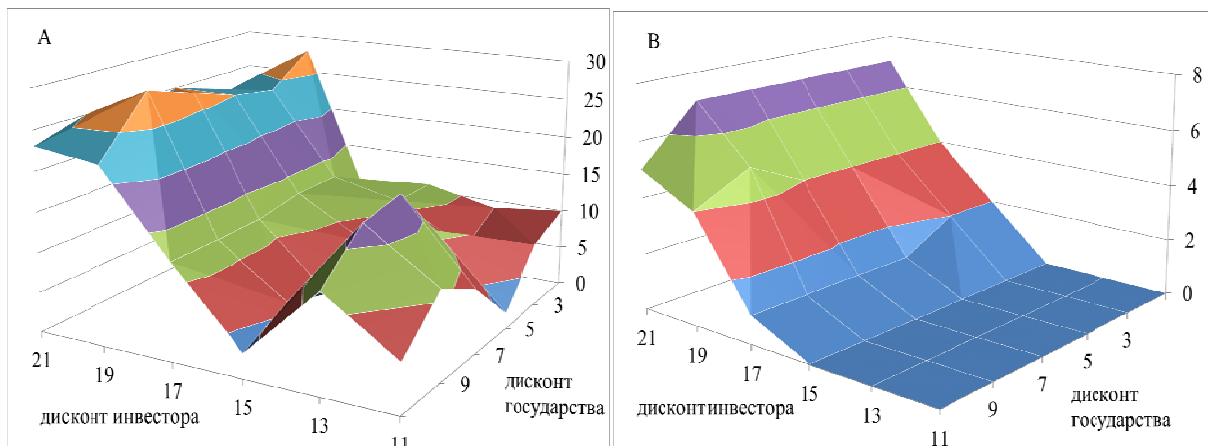


Рис. 2. Число льгот, полученных инвестором в двухуровневой (А) и одноуровневой (В) постановках

секторе, но оказывается удобной для понимания того, что дает переход от одноуровневой к двухуровневой постановке.

На рис. 1–2 приведены некоторые результаты численных экспериментов, поясняющие методику анализа свойств равновесных решений задачи (1)–(20). Здесь представлены оценки интенсивности использования всех трех рычагов помощи государства инвестору в зависимости от соотношения дисконтов партнеров. Мы видим, что государство в обеих постановках дает льготы и помогает в реализации природоохранных мероприятий. Однако в одноуровневой задаче предпочтение отдается помощи в охране природы – здесь государство берет на себя до 15 проектов, в то время как в двухуровневой постановке число таких проектов не превышает трех. В двухуровневой задаче государство, напротив, более эффективным считает рычаг льготирования – для любых дисконтов партнеров число льгот в двухуровневой постановке существенно превосходит этот показатель для одноуровневой задачи, в которой инвестору с невысоким дисконтом вообще не дается льгот.

4. Обсуждение полученных результатов. Результаты численных экспериментов иллюстрируют возможности предлагаемого подхода к формированию механизма взаимодействия государства и инвестора на принципах партнерства. Предлагаемый инструментарий стратегического планирования предназначен для малоосвоенной сырьевой территории и строит программу освоения минерально-сырьевой базы на основе полного арсенала рычагов партнерства, включающего не только помощь инвестору в создании необходимой инфраструктуры, но и реализацию части необходимых природоохранных мероприятий, а также предоставление некоторых налоговых льгот. Мы видим, что в рамках построенной модели формирования механизма взаимодействия в некоторых случаях инвестор получает налоговые преференции, а государство берет на себя фиксированный перечень экологических проектов. Такое поведение рационально, но требует выверенного подхода к определению конкретного размера помощи.

Численные результаты показывают, что процедура взаимодействия «лидер – ведомый», положенная в основу модели Штакельберга, обеспечивает рациональность механизма партнерства, в котором роль лидера отведена государству, своими действиями создающему дополнительные стимулы для прихода инвесторов. В соответствии с этим и строится задача лидера, в которой государство принимает решение, основываясь на своих бюджетных ограничениях и рациональном ответе частного инвестора, стремящегося максимизировать свой

доход. Это позволяет достичь необходимого уровня компромисса интересов и уже на этой основе строить стратегию развития ресурсных территорий.

Список литературы

1. Лавлинский С., Панин А., Плясунов А. Сравнение моделей планирования государственно-частного партнерства // Дискрет. анализ и исслед. операций. 2016. Т. 23, № 3. С. 35–60.
2. Лавлинский С.М., Панин А.А., Плясунов А.В. Двухуровневая модель планирования государственно-частного партнерства // Автоматика и телемеханика – 2015. – №11. – С. 89–103.
3. Лавлинский С.М. Государственно-частное партнерство на сырьевой территории - экологические проблемы, модели и перспективы // Проблемы прогнозирования. 2010. № 1. С. 99-111.

Лавлинский Сергей Михайлович – д-р техн. наук, ведущ. науч. сотр. Института математики им. Соболева СО РАН; 630090, Новосибирск; e-mail: lavlin@math.nsc.ru;

Плясунов Александр Владимирович – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Института математики им. Соболева СО РАН; Новосибирск; e-mail: apljas@math.nsc.ru;

Панин Артем Александрович – канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. Института математики им. Соболева СО РАН; Новосибирск; e-mail: aapanin1988@gmail.com