



Н.А. Косолапова, Л.Г. Матвеева

**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СОГЛАСОВАНИЯ
СТРАТЕГИЙ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ**

N.A. Kosolapova, L.G. Matveeva

**ECONOMIC AND MATHEMATICAL COORDINATION MODELS
FOR WATER CONSUMPTION STRATEGIES OF ECONOMIC AGENTS**

Статья посвящена применению экономико-математических методов для согласования интересов субъектов РФ при распределении ограниченных объемов водных ресурсов бассейна реки Дон. Регионы, располагающиеся в бассейне Дона, являются одними из самых экономически развитых и густонаселенных районов Российской Федерации. В связи с этим проблема обеспечения водой населения и отраслей экономики на данных территориях является одной из самых важных. Целью данной работы является формирование системного инструментария поддержки принятия управленческих решений по распределению ограниченного объема водных ресурсов между регионами бассейна реки Дон, выступающими в роли экономических агентов. При выборе инструментария принималась во внимание необходимость учета особенностей водообеспечения отдельных водопользователей. Для решения таких проблем используются экономико-математические методы, которые позволяют выработать решения вопросов межрегиональных взаимодействий на базе принятия оптимальных решений с учетом показателей развития региональных экономик. Поставленная задача распределения ресурсов предполагает предварительное рассмотрение группы близких между собой по показателям социально-экономического развития хозяйствующих субъектов – потребителей данного вида ресурсов, а затем распределение водных ресурсов в рамках декомпозированных групп на основе приоритетного механизма. Для решения данной задачи предложена теоретико-игровая модель с равновесием Нэша–Штакельберга, решение которой ищется в форме смешанных стратегий. Предлагаемый подход является одним из инструментов поддержки принятия решений, позволяющим управляющему органу повысить степень обоснованности управленческих решений по распределению водных ресурсов в конкретных ситуациях, что является существенным для организаций, функционирующих в условиях неопределенности и информационной асимметрии.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ; РЫНОЧНЫЕ ОТНОШЕНИЯ; МЕХАНИЗМ ПРИОРИТЕТОВ; ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ; РАВНОВЕСИЕ НЭША–ШТАКЕЛЬБЕРГА; СМЕШАННЫЕ СТРАТЕГИИ.

The article examines the application of economic-mathematical methods for the coordination of the interests of the subjects of the Russian Federation in the allocation of limited water resources in the basin of the Don River. The regions located in the basin of the Don are among the most economically developed and densely populated areas of the Russian Federation. In this regard, the problem of providing the population and industries of these areas with water is one of the most important. This work aims at designing a system of tools to support administrative decision-making in respect of the allocation of limited water resources among the regions of the Don River basin, acting as economic agents. When making the choice of the tools, the specifics of supplying individual water users were factored in. To solve such problems, economic-mathematical methods should be applied as they allow developing a solution to the issues of interregional cooperation on the basis of optimal decision-making relying on the development indicators of regional economies. The task of resource allocation involves a preliminary review of the group of economic entities close to each other in terms of socio-economic development, i.e. consumers of the resource, and then the distribution of water resources within the split groups by employing a priority mechanism. This problem can be handled with the help of the game-theoretic model where Nash-Stackelberg equilibrium solutions involve mixed strategies. The proposed approach is a tool to facilitate decision-making, it allows the governing body to increase the validity of management decisions on water allocation in specific situations, which is essential for organizations operating under conditions of uncertainty and information asymmetry.

WATER ALLOCATION; MARKET RELATIONS; PRIORITY MECHANISM; GAME-THEORETIC MODEL; NASH-STACKELBERG EQUILIBRIUM; MIXED STRATEGIES.

Введение. Новые тренды развития российской экономики, ориентированные на формирование несырьевой модели экономиче-

ского роста, соответственно изменили парадигму стратегических приоритетов региональных систем, в том числе в аспекте про-

блемы достаточного ресурсообеспечения хозяйствующих субъектов, локализующих свою деятельность в их границах. Сохраняющаяся слабость инфраструктурной обустроенности российской экономики ориентирует стратегические планы и целевые программы субъектов РФ на более рациональное использование ресурсов, прежде всего, базовых, определяя тем самым в качестве важного направления научных исследований поиск концепций, новых моделей и механизмов их эффективного распределения для реализации проектов, поддерживающих устойчивое развитие территорий.

При этом следует учитывать, что взаимосвязь элементов региональной системы проявляется как по вертикали (уровням иерархии российской экономики), так и по горизонтали (между компонентами одного уровня), ряд которых играет системообразующую роль в макроэкономике в целом и отдельных регионах. Это связано с ключевой ролью крупных структурных единиц региональной экономики с самостоятельным экономическим статусом, способствующих ее развитию или сдерживающих поступательную динамику, которые зачастую формируют базовые звенья, соединяющие лидирующие и отстающие функциональные зоны территориального комплекса. Немаловажную роль при этом играет тот факт, что выработка управленческих воздействий региональными органами государственной власти, выступающими в роли субъекта управления по отношению к системе региональной экономики в целом и ее отдельным подсистемам, носит более прикладной и действенный характер, а также имеет меньший лаг запаздывания реализации принятых управленческих решений, по сравнению с институциональной ролью федеральных структур, задающих общие правила, условия и направления функционирования хозяйствующих субъектов и рыночной системы в целом [1].

Активное развитие конкурентных отношений в процессе ресурсного обеспечения субъектов регионального хозяйства, детерминированное новыми макроэкономическими условиями, значительно обострило проблему обеспечения регионов одним из важнейших видов базовых ресурсов — водными ресурсами в связи с более интенсивным их использова-

нием как для промышленности и сельского хозяйства, так и для коммунально-бытовых нужд. В связи с этим рациональное водопользование становится одним из ключевых факторов экономического и социального развития регионов, влияющих на развитие производительных сил и производственных отношений. Так, в настоящее время реальной практикой тестируется высокий и все более нарастающий удельный объем расхода воды в промышленности, агропромышленном комплексе, жилищно-коммунальном хозяйстве и др. При этом объемы изъятия водных ресурсов становятся сопоставимыми с их наличием, что приводит к дефициту водохозяйственных балансов. Кроме того, для водопользователей лимиты водопотребления устанавливаются исходя из составленных ими заявок потребностей в водных ресурсах с учетом водохозяйственных балансов [2, 3].

Сложная система экономических интересов, реализуемая в отношениях и взаимодействиях субъектов рынка водных ресурсов территории, будучи несбалансированной, не обеспечивает формирование материальной основы достижения общеэкономической эффективности. Соответственно концептуальная идея управления распределением водных ресурсов региона должна заключаться не просто в модернизации водохозяйственного комплекса (ВХК) территории в самом широком смысле этого слова, а в модернизации, основанной непосредственно на инноватизации связей и отношений участников данного рынка, ориентированных на достижение стратегических целей, центральный импульс которым должно задать создание взаимовыгодных условий взаимодействия [4].

На самом низком уровне агрегирования находятся цели отдельных потребителей водных ресурсов (производственных и сельскохозяйственных предприятий, населения, организаций разного типа и т. п.), более высокий уровень агрегирования имеют цели отраслевого, а затем и регионального развития. Наконец, основная цель стратегического развития водохозяйственного комплекса территории должна соответствовать интересам общеэкономической эффективности, которые можно представить на следующих уровнях декомпозиции: повышение уровня национальной безопасности, рост конкуренто-



способности отечественного производства на мировых рынках и повышение уровня и качества жизни населения [5].

Эффективность и качество использования потенциала водохозяйственного комплекса территории определяют уровень обеспеченности водными ресурсами субъектов региональной экономики, обуславливают характер долгосрочных взаимодействий государства и бизнеса. В связи с этим объективно возникает необходимость согласования интересов участников данного рынка, что сопряжено с целым комплексом проблем как общерегионального характера, так и внутрифирменного, включая развитие механизма управления экономическим потенциалом предприятий водохозяйственного комплекса территории.

Таким образом, можно говорить о «вложенности» целей регулирования распределения водных ресурсов региона, причем потенциал развития водохозяйственного комплекса территории при переходе от одного уровня к другому приобретает новые синергетические свойства, на которые направлены управляющие воздействия соответствующего уровня. То есть на самом нижнем уровне управленческие воздействия сказываются на потенциале отдельных предприятий, которые на следующем уровне объединяются в потенциал ВХК, обладающий новыми свойствами, управлять которыми на основе тех же механизмов не всегда представляется возможным, эффективным или целесообразным.

Очевидная сложность и масштабность решения этих задач в системе водного хозяйства территории предполагает уточнение методологического базиса и инструментарного аппарата поддержки принятия ориентированных на реализацию нового стратегического курса управленческих решений. Представляется в данном контексте, что для разработки качественной системы управления водными ресурсами региона требуется комбинирование имеющихся подходов к управлению сложно структурированными экономическими системами [6]. В частности, речь идет о том, что должна реализовываться идея баланса интересов государства как макрорегулятора, предприятий ВХК и потребителей водных ресурсов.

Очевидно, что проблема обеспечения баланса интересов участников рынка водных ресурсов региона лежит в плоскости конфликта между эффективностью и справедливостью, который прослеживается в работах классиков экономической теории Парето, Маршалла, Пигу [7–8] и др., и продолжается до настоящего времени. Как отмечает М. Блауг, проблема необходимости выбора между эффективностью и справедливостью предопределяет отношение экономистов к вопросам политики. При этом сначала оценивается эффективность различных альтернатив, а затем рассматриваются любые возможные неблагоприятные распределительные эффекты, которые могут быть сведены на нет налогами и трансфертами [9].

Выбор конкретных механизмов и инструментов достижения стратегических целей на каждом уровне определяется множеством факторов, среди которых одними из основных являются интересы и приоритеты взаимодействующих субъектов. Именно сочетание тех или иных экономических, политических и других интересов определяет содержание экономических стратегий развития [10, 11].

Таким образом, в связи с объективно ограниченными возможностями предоставления водных ресурсов появляется проблема их приоритетного распределения и удовлетворения заявок на основе оценок, базирующихся на показателях социально-экономического развития хозяйствующих субъектов и в соответствии с этим потребительских предпочтений регионов.

Решение этой проблемы требует применения нового механизма, позволяющего в реальной водохозяйственной ситуации обеспечить справедливое распределение водных ресурсов, наиболее полно удовлетворяющее экономическим интересам их потребителей и регионов, их собственников, и устанавливающее устойчивые экономические отношения между хозяйствующими субъектами, стимулирующие их развитие. В связи с чем встроенный в этот механизм инструментарий должен решать проблему межрегиональных взаимодействий на базе принятия оптимальных решений с учетом показателей региональных экономик, не оставляя без внимания вопросы комплексного развития регио-

нов. Решение задачи создания такого инструментария видится в применении экономико-математических методов.

Методика и результаты исследования. Итак, ставится задача создания системного инструментария распределения ограниченного объема водных ресурсов между регионами бассейна реки Дон, выступающих в роли экономических агентов. Предполагается, что суммарный распределяемый ресурс, имеющийся у центра, меньше суммы заявленных агентами необходимых ресурсов, т. е. имеется дефицит водных ресурсов.

Управляющий орган, в роли которого выступает бассейновая водохозяйственная система, распределяет водные ресурсы в количестве Ω в соответствии с заявками $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, подаваемыми агентами $\{Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_n\}$. Переменной $R_i, i = \overline{1, n}$ обозначено количество выделяемых управляющим органом ресурсов агенту Ag_i с номером i . Таким образом, возникает проблема создания механизма $\Theta(Z)$ распределения водных ресурсов, включающего инструментарий сопоставления вектору заявок $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ вектора выделяемых агентам ресурсов $R = (R_1, R_2, \dots, R_n)$, $R_i = \Theta(z_i), \Theta: Z \rightarrow R$.

В связи с тем, что сумма количества ресурсов, заявленных агентами, больше распределяемого количества ресурсов $\Omega < \sum_{i=1}^n z_i$, возникает дефицит водных ресурсов. Очевидно, что в такой ситуации не все агенты могут получить водные ресурсы в заявленном количестве, т. е. $\sum_{i=1}^n R_i < \sum_{i=1}^n z_i$.

В [12, 13] проведен анализ используемых в практической деятельности механизмов распределения ресурсов, в соответствии с которыми эти механизмы декомпозированы на три подмножества: конкурсные, приоритетные, децентрализованные. При конкурсном механизме распределения ресурсов из множества агентов, подавших заявки на приобретение ресурса, выделяется подмножество выигравших конкурс агентов, которые получают требуемый ресурс в полном объеме. Приоритетный механизм предполагает распределение ресурсов между агентами системы по приоритетам, определяемым

центром, а также приписываемым каждому агенту некоторым коэффициентом в соответствии с информацией о важности. При децентрализованном механизме распределения ресурсов, характерном для больших систем, агенты, претендующие на получение ресурсов, декомпозируются на классы эквивалентности, состоящие из близких между собой по некоторой группе показателей агентов. Управляющие органы сначала распределяют ресурсы между классами однородных объектов, а затем менеджерами полученных классов осуществляется распределение ресурсов между отдельными агентами.

Нами предлагается использование смешанного механизма распределения ограниченного количества водных ресурсов между субъектами бассейна реки Дон. Этот механизм объединяет черты приоритетного и децентрализованного механизмов распределения ресурсов. При этом все множество агентов разбивается на подмножества $\{AG_i\}_{i=1}^k$ близких по показателям социально-экономического развития агентов

$$AG_1 = \{Ag_{ij}\}_{i=1}^{\alpha_1}, AG_2 = \{Ag_{2i}\}_{i=1}^{\alpha_2}, \dots, AG_k = \{Ag_{ki}\}_{i=1}^{\alpha_k},$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ – количество агентов, попавших соответственно в подмножества AG_1, AG_2, \dots, AG_k (рис. 1).

Управляющий орган сначала распределяет ресурсы между кластерами агентов AG_1, AG_2, \dots, AG_k , а затем – между отдельными агентами $Ag_{ij} \in AG_i$ внутри каждого кластера $AG_i, i = \overline{1, k}$. В связи с тем, что распределение управляющим органом водных ресурсов между кластерами агентов AG_1, AG_2, \dots, AG_k , а затем между самими агентами $\{Ag_{i1}, Ag_{i2}, \dots, Ag_{i\alpha_i}\}$ кластера $AG_i, i = \overline{1, k}$ осуществляется на основе заявок, между множеством агентов и управляющим органом возникает игра, которую можно представить в нормальной (или стратегической) форме. В [14, 15] предлагались экономико-математические модели распределения финансовых ресурсов между субъектами РФ на базе игрового поведения стохастических автоматов. Но использованный в этих работах математический аппарат не применим для формализации распределения водных ресурсов, так как не предусматривает приоритетности потребителей.

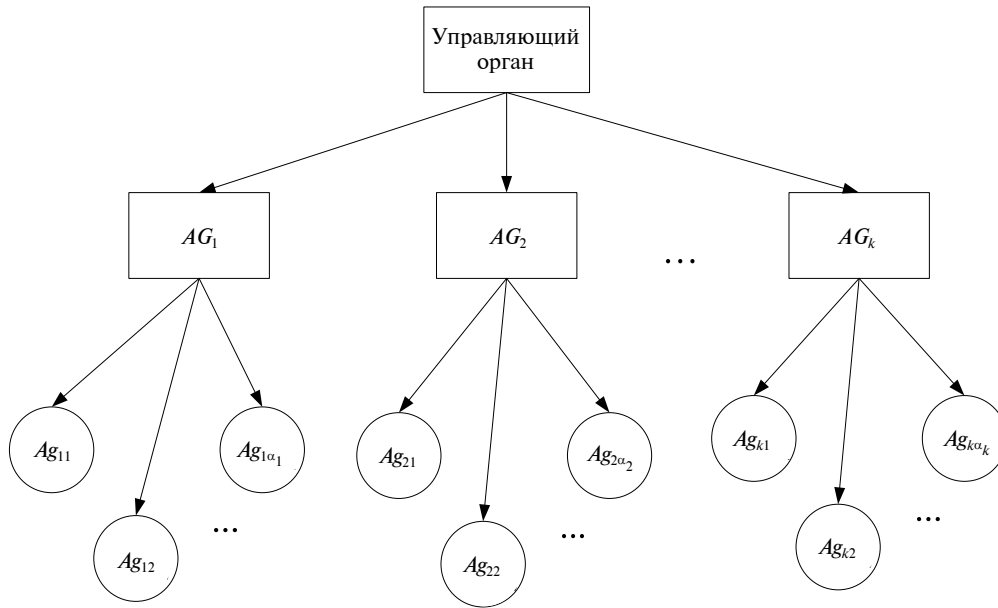


Рис. 1. Иерархическая структура агентов при смешанном распределении водных ресурсов

С учетом этого, стратегическая форма игры между управляющим органом и множеством кластеров агентов может быть представлена следующим образом:

$$IG(AG) = \{ \{I, \{AG_i\}_{i=1}^k\}, \{ \{ \Theta(\tilde{z}_i) \}_{i=1}^n \}, \{ ST_i \}_{i=1}^n \} \{ \{ v_j(\Theta(\tilde{z}_i)) \}_{j=1}^k \}_{i=1}^n \},$$

где $IG(AG)$ – игра, описывающая принятие решений в конфликтной ситуации между управляющим органом I и множеством кластеров агентов $AG = \{AG_1, AG_2, \dots, AG_k\}$; $\{AG_i\}_{i=1}^k$ – один из игроков, в роли которого выступает множество кластеров AG_i агентов Ag_j (в роли другого игрока выступает управляющий орган I); $\{ \{ \Theta(\tilde{z}_i) \}_{i=1}^k, \{ ST_i \}_{i=1}^n \}$ – множество множеств стратегий (ходов), доступных игрокам I и $\{AG_i\}_{i=1}^k$; \tilde{z}_i – интегральная заявка на водные ресурсы кластера AG_i , $\tilde{z}_i = \sum_{i,j} z_{ij}$; z_{ij} – заявка на водные ресурсы агента $Ag_{ij} \in AG_j$; $\{ v_j(\Theta(\tilde{z}_i)) \}_{j=1}^k$ – значения функций выигрыша игроков I и $\{AG_i\}_{i=1}^k$ в результате применения стратегии $\Theta(\tilde{z}_i)$, ставящей в соответствие множеству заявок итоговое распределение ресурсов $v_j : \{ \tilde{z}_i \} \rightarrow \{ \Theta(\tilde{z}_i) \}$, $R_i = \Theta(\tilde{z}_i)$; R_i – количество ресурсов, распределяемое управ-

ляющим органом игроку $\{AG_i\}_{i=1}^k$ в результате применения стратегии $\Theta(\tilde{z}_i)$.

Нормальная форма игры между менеджером кластера I_M и агентами Ag_{ij} , $j = \overline{1, \alpha_j}$ отдельного кластера AG_i , $i = \overline{1, k}$ записывается в виде:

$$IG(AG_i) = \{ \{I_M, \{Ag_{ij}\}_{j=1}^{\alpha_i}\}, \{ \{ \Theta(z_{ij}) \}_{j=1}^{\alpha_j} \}, \{ ST_i \}_{j=1}^{\alpha_i} \} \{ \{ v_l(\Theta(z_{ij})) \}_{j=1}^{\alpha_j} \}_{l=1}^2 \},$$

где $IG(AG_i)$ – игра, заданная между менеджером I_M , распределяющим водные ресурсы между агентами кластера, и множеством агентов Ag_{ij} кластера $AG_i = \{AG_{i1}, AG_{i2}, \dots, AG_{i\alpha_i}\}$; $\{Ag_{ij}\}_{j=1}^{\alpha_i}$ – один из игроков, в роли которых выступают агенты Ag_{ij} кластера AG_i (в качестве второго игрока выступает менеджер I_M); $\{ \{ \Theta(z_{ij}) \}_{j=1}^{\alpha_i}, \{ ST_i \}_{i=1}^n \}$ – множество множеств стратегий, доступных игрокам соответственно I_M и $\{Ag_{ij}\}_{j=1}^{\alpha_i}$; z_{ij} – заявка на водные ресурсы, поступившая от агента $Ag_{ij} \in AG_i$; $\{ \{ v_l(\Theta(z_{ij})) \}_{j=1}^{\alpha_j} \}_{l=1}^2$ – значения функций выигрыша игроков I_M и $\{Ag_{ij}\}_{j=1}^{\alpha_i}$ в результате применения стратегии $\Theta(z_{ij})$, ставящей в соответствие множеству заявок итоговое распределе-

ние ресурсов $v_j : \{z_{ij}\} \rightarrow \{\Theta(z_{ij})\}$, $R_{ij} = \Theta(z_{ij})$; R_{ij} – количество водных ресурсов, распределяемое управляющим органом кластера AG_i агенту $Ag_{ij} \in AG_i$.

Для осуществления эффективного распределения водных ресурсов R механизм распределения $\Theta(\cdot)$ должен стимулировать субъекты РФ к социально-экономическому росту посредством состязания за получение необходимого количества водных ресурсов. Условия данного механизма будут не только влиять, но и во многом определять поведение игроков. С этой целью в состав критериев, на базе которых будут расставляться приоритеты агентов при распределении водных ресурсов, должны быть включены показатели социально-экономического развития субъектов РФ бассейна реки Дон.

В настоящей статье распределение ограниченного количества водных ресурсов между субъектами РФ бассейна реки Дон предложено осуществлять на основе функции приоритета, аргументом которой являются поданные субъектами РФ заявки и показатели их социально-экономического развития.

Аналитическое выражение приоритетного механизма распределения водных ресурсов может быть представлено в виде:

$$\Theta(z_i) = \begin{cases} z_i, & \text{если } \sum_{i=1}^n z_i \leq R, \\ \varepsilon z_i, & \text{если } \sum_{i=1}^n z_i > R, \end{cases}$$

где ε – коэффициент, при котором выполняется условие $\sum_{i=1}^n \Theta(z_i) = \Omega$.

Известны три вида приоритетных механизмов при распределении ресурсов в соответствии с заявками [11, 12]: прямые приоритеты, при которых функция приоритетов $\lambda(z)$, зависящая от поданных заявок, является возрастающей $\frac{\partial \lambda}{\partial z}(z) \geq 0$; обратные приоритеты, при которых функция приоритетов $\lambda(z)$, зависящая от поданных заявок, является убывающей $\frac{\partial \lambda}{\partial z}(z) < 0$; абсолютные приоритеты, при которых функция приоритетов $\lambda(z)$ не зависит от поданных заявок $\frac{\partial \lambda}{\partial z}(z) = 0$.

Нами предложено использование сочетания прямого и обратного приоритетного механизма распределения заявок, при котором количество водных ресурсов отводится субъектам РФ бассейна реки Дон в соответствии с заявками, а также с учетом значений коэффициентов, определяемых на базе приоритетов и устанавливаемых по показателям социально-экономического развития регионов. Приоритетный механизм распределения водных ресурсов рассматривается как неантагонистическая бескоалиционная игра, в которой игроки пытаются максимизировать значения своих функций выигрышей. Таким образом, распределение водных ресурсов среди субъектов РФ бассейна реки Дон сведено к задаче принятия решений в конфликтных ситуациях.

Для принятия решений по дележу ограниченного количества водных ресурсов бассейна реки Дон между субъектами РФ предложена модель равновесия по Нэшу–Штакельбергу в процессе приоритетного механизма распределения. Процедура ранжирования регионов РФ по показателям социально-экономического развития может быть осуществлена на основе применения известных экономико-математических методов.

Предложенная модель согласования интересов при распределении водных ресурсов представлена последовательностью игровых моделей. На первом этапе множество субъектов РФ бассейна реки Дон декомпозируется на кластеры близких между собой агентов, среди которых выбираются кластеры высшего и низшего уровня. Затем рассматривается игровая модель двух игроков: управляющего органа, распределяющего водные ресурсы, и множества субъектов РФ, именуемых агентами и разбитых на два уровня – высший и низший. Для управляющего органа, т. е. первого игрока, а также множества агентов, т. е. второго игрока, предоставляется возможность выбора двух стратегий. Первый игрок может выбрать стратегию либо прямых, либо обратных приоритетов.

В случае выбора управляющим органом механизма прямых приоритетов агенты высшего уровня получают заявленное количество водных ресурсов $R_1 = z_1$, в то время как агентам низшего уровня достается оставшееся количество ресурсов, равное $R_2 = (R - z_1)$.

В случае выбора управляющим органом механизма обратных приоритетов, заявленное количество водных ресурсов $R_2 = z_2$ получают агенты низшего уровня, а агентам высшего уровня распределяется объем водных ресурсов, равный $R_1 = (\Theta - z_2)$. Величины $z_1, (\Theta - z_1), z_2, (\Theta - z_2)$ рассматриваются как выигрыши второго игрока.

Игровой смысл поведения агентов при выборе своих стратегий представлен в таблице.

Биматричная модель неантагонистической игры при распределении водных ресурсов между экономическими субъектами

		Первый игрок (управляющий орган)	
		I_1	I_2
Второй игрок	II_1	$((R_1 = z_1), F_1)$	$((R_1 = (\Omega - z_2), F_2)$
	II_2	$((R_2 = (\Omega - z_1), F_3)$	$((R_2 = z_2), F_4)$

Таким образом, у первого игрока имеются в распоряжении стратегии I_1 и I_2 , при выборе которых субъект принятия решений получает выигрыши, величина которых соответственно равна F_1, F_3, F_2, F_4 . Второй игрок в процессе принятия решений владеет стратегиями II_1 и II_2 с выигрышами $(R_1 = z_1), (R_1 = (\Omega - z_2), (R_2 = (\Omega - z_1), (R_1 = z_2)$.

Очевидно, что игра не обладает равновесием Нэша в чистых стратегиях. Вследствие этого решение игры ищется в форме смешанных стратегий. При этом задается вероятностное распределение $p = (p_1, p_2)$ на множестве чистых стратегий $II = (II_1, II_2)$ второго игрока. Тогда выигрышами второго игрока, соответствующими профилю смешанных стратегий $p = (p_1, p_2)$, являются результаты оценки математического ожидания выигрышей чистых стратегий $(R_1 = z_1), (R_1 = (\Omega - z_2)$ и $(R_1 = (\Omega - z_2), (R_2 = z_2)$.

Для определения значений компонентов вектора $p = (p_1, p_2)$ воспользуемся необходимым и достаточным условием того, что ситуация $p = (p_1, p_2)$ должна соответствовать равновесию по Нэшу. Это условие формулируется следующим образом: при заданном распределении вероятностей противника математическое ожидание выигрыша от приме-

нения чистых стратегий одинаково при любой стратегии противника. Вследствие того, что должно выполняться условие $\sum_{i=1}^2 p_i = 1$,

можно утверждать, что если игрок II играет стратегию II_1 с вероятностью p_1 , то стратегию II_2 он играет с вероятностью $1 - p_1$. Тогда получаем, что ожидаемый выигрыш игрока I от игры I_1 составит $p_1 z_1 + (1 - p_1)(\Omega - z_1)$, а от игры $I_2 - p_1(\Omega - z_2) - (1 - p_1)z_2$.

С учетом необходимого и достаточного условия существования равновесия по Нэшу в смешанных стратегиях можно составить следующее уравнение:

$$p_1 z_1 + (1 - p_1)(\Omega - z_1) = p_1(\Omega - z_2) - (1 - p_1)z_2.$$

Величины p_1, p_2 служат весовыми коэффициентами при распределении водных ресурсов между кластерами высшего и низшего уровней агентов, в роли которых, как определялось, выступают субъекты РФ. Таким образом, равновесной по Нэшу является следующее распределение водных ресурсов: $\Theta = (z_1 p_1 + z_2 p_2)$.

Следует дополнительно отметить, что распределение водных ресурсов между субъектами РФ происходит в условиях информационной асимметрии, когда управляющий орган не знает точно потребностей агентов. А заявки пользователей водных ресурсов, как правило, не всегда отражают их истинные размеры.

С использованием предложенной выше теоретико-игровой модели у управляющего органа при распределении ограниченного количества водных ресурсов появляется возможность получать решение, применяя формальный метод. И для конкретной ситуации, возникающей на практике, это решение, несомненно, окажется оптимальным. Является, тем не менее, бесспорным, что в практической управленческой деятельности неизбежно возникают случаи, при которых подобное, формально полученное решение, будет неприемлемым. Поэтому не вызывает сомнения тот факт, что качество управленческого решения, его результативность, в первую очередь, зависят от знаний и опыта лица, принимающего это решение. Однако изложенный подход предлагается не для принятия решений, а

для поддержки принятия решений и, следовательно, позволяет управляющему органу повысить степень обоснованности варианта распределения водных ресурсов в конкретных ситуациях. Это является немаловажным для организаций, функционирующих в условиях неопределенности и информационной асимметрии, для которых опыт обоснования принимаемых решений является весьма ограниченным. В то же время именно от надежности обоснования принимаемого решения во многом зависит ожидаемый результат.

Выводы. Решение проблемы распределения ограниченного количества водных ресурсов необходимо осуществлять по принципу приоритетного удовлетворения заявок на базе показателей социально-экономического развития хозяйствующих субъектов. Проблема приоритетного удовлетворения заявок на потребление водных ресурсов требует разработки новых механизмов, стимулирующих при согласовании интересов потребителей их экономическое развитие. Формирование таких механизмов предполагает использование экономико-математических моделей, интегрирующих черты централизованного и децентрализованного управления водохозяйственным комплексом. Экономико-математические исследования взаимодействий между агентами, в роли которых выступают управляющий орган и водопользователи, эффективны в классе формального описания их игрового

поведения, приводящего к балансу интересов на базе равновесия Нэша–Штакельберга.

В результате исследования разработана стратегическая форма теоретико-игровых экономико-математических моделей взаимодействия агентов, в качестве которых рассматривается распределяющий водные ресурсы орган и их потребители, т. е. субъекты РФ, которая обеспечивает в плане согласования экономических интересов водопользователей достижение равновесия по Нэшу–Штакельбергу. Предложенное решение игры в форме смешанных стратегий на основе использования необходимого и достаточного условия достижения равновесия по Нэшу позволяет определить весовые коэффициенты при приоритетном распределении водных ресурсов в условиях информационной асимметрии.

Предложенный подход приоритетного распределения водных ресурсов на основе теоретико-игровых моделей использует в качестве исходных данных объем водных ресурсов, которым располагает управляющий орган в течение планируемого периода. В связи с этим перспективными представляются исследования авторов, направленные на создание экономико-математических моделей, позволяющих в условиях стохастической неопределенности воздействий внешней среды осуществлять расчет водохозяйственного баланса для обеспечения надежности водопользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеева Л.Г., Никитаева А.Ю. Стимулирование регионального развития: инструментарий системного подхода // Terra Economicus. 2007. Т. 5, № 4. С. 2.
2. Данилов-Данильян В.И. Водные ресурсы – стратегический фактор долгосрочного развития экономики России // Вестник РАН. 2009. Т. 79, № 9. С. 789.
3. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. М.: Научный мир, 2010. 232 с.
4. Пряжинская В.Г., Левит-Гуревич Л.К. К вопросу о методах управления водохозяйственными комплексами // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2011. № 1. С. 7.
5. Знаменский В.А. Природное разграничение территории как основа государственного районирования России и путь к снижению экономических потерь // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2014 № 1(187). С. 91–97. URL: <http://ntv.spbstu.ru/economics/issue/E1.187.2014/> (дата обращения: 24.05.2015).
6. Косолапова Н.А. Математический инструментарий стратегического управления водными ресурсами региона // Terra Economicus. 2014. № 3. Ч. 3.
7. Парето В. Компендиум по общей социологии (Compendio di sociologia generale) / пер. А.А. Зотова. 2-е изд. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2008. 511 с.
8. Marshall A. The pure theory of foreign trade and the pure theory of domestic values. L., 1879;
9. Pigou A.C. The Economics of Welfare. L., 1920.
9. Блауг М. Экономическая мысль в ретроспективе. М.: Дело ЛТД, 1994. 561 с.

10. **Панюшкина Е.В.** Актуальность исследования федеральных и региональных экономических интересов для успешной реализации стратегии модернизации российского общества // Проблемы современной экономики. 2010. № 2(34).

11. **Кардаш В.А.** Конфликты и компромиссы в рыночной экономике. М.: Наука, 2006. 138 с.

12. **Губко М.В.** Модели коалиционного взаимодействия активных элементов в механизмах распределения ресурса и активной экспертизы // Современные проблемы фундаментальных наук: тез. докл. XLII науч. конф. МФТИ. Долгопрудный, 1999. С. 46.

13. **Коргин Н.А.** Эквивалентность и неманипу-

лируемость приоритетных механизмов распределения ресурсов // Управление большими системами. 2009. № 26-1. С. 319–347.

14. **Стрельцова Е.Д., Стрельцов В.С.** Модель коллективного поведения систем «Автомат – переключаемая среда» при выборе компромиссной стратегии межбюджетного регулирования // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. История.

15. **Стрельцова Е.Д., Богомякова И.В., Стрельцов В.С.** Агентное моделирование поддержки принятия решений по долевному распределению налогов на мезоуровне // Сборник научных трудов SWorld. 2014. Вып. 3(36), т. 17. 112 с.

REFERENCES

1. **Matveeva L.G., Nikitaeva A.Iu.** Stimulirovanie regional'nogo razvitiia: instrumentarii sistemnogo podkhoda. *Terra Economicus*. 2007. Т. 5, № 4. С. 2. (rus)

2. **Danilov-Danil'ian V.I.** Vodnye resursy – strategicheskii faktor dolgosrochnogo razvitiia ekonomiki Rossii. *Vestnik RAN*. 2009. Т. 79, № 9. С. 789. (rus)

3. **Danilov-Danil'ian V.I., Khranovich I.L.** Upravlenie vodnymi resursami. Soglasovanie strategii vodopol'zovaniia. М.: Nauchnyi mir, 2010. 232 s. (rus)

4. **Priazhinskaia V.G., Levit-Gurevich L.K.** K voprosu o metodakh upravleniia vodokhoziaistvennymi kompleksami. *Vodnoe khoziaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. 2011. № 1. С. 7. (rus)

5. **Znamenskii V.A.** Economics natural distinction state zoning environmental challenges administrative structures for environmental sustainability. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2014, no. 1(187), pp. 81–97. (rus)

6. **Kosolapova N.A.** Matematicheskii instrumentarii strategicheskogo upravleniia vodnymi resursami regiona. *Terra Economicus*. 2014. № 3. Ch. 3. (rus)

7. **Pareto V.** Compendium po obshchei sotsiologii (Compendio di sociologia generale). Per. A.A. Zotova. 2-e izd. М.: Izd. dom GU VShE, 2008. 511 s. (rus)

8. **Marshall A.** The pure theory of foreign trade and the pure theory of domestic values. L., 1879;

Pigou A.S. The Economics of Welfare. L., 1920.

9. **Blaug M.** *Ekonomicheskaiia mysl' v retrospektive*. М.: Delo LTD, 1994. 561 s. (rus)

10. **Paniushkina E.V.** Aktual'nost' issledovaniia federal'nykh i regional'nykh ekonomicheskikh interesov dlia uspekhnoi realizatsii strategii modernizatsii rossiiskogo obshchestva. *Problemy sovremennoi ekonomiki*. 2010. № 2(34). (rus)

11. **Kardash V.A.** Konflikty i kompromissy v rynochnoi ekonomike. М.: Nauka, 2006. 138 s. (rus)

12. **Gubko M.V.** Modeli koalitsionnogo vzaimodeistviia aktivnykh elementov v mekhanizmax raspredeleniia resursa i aktivnoi ekspertizy. *Sovremennye problemy fundamental'nykh nauk: tez. dokl. XLII nauch. konf. МФТИ. Dolgoprudnyi*, 1999. С. 46. (rus)

13. **Korgin N.A.** Ekivalentnost' i nemanipuliruemost' prioritetsykh mekhanizmov raspredeleniia resurov. *Upravlenie bol'shimi sistemami*. 2009. № 26-1. С. 319–347. (rus)

14. **Strel'tsova E.D., Strel'tsov V.S.** Model' kolektivnogo povedeniia sistem «Avtomat – perekliuchaemaia sreda» pri vybore kompromissnoi strategii mezhibudzhethnogo regulirovaniia. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Istoriia*. (rus)

15. **Strel'tsova E.D., Bogomiagkova I.V., Strel'tsov V.S.** Agentnoe modelirovanie podderzhki priiniitiia reshenii po dolevomu raspredeleniiu nalogov na mezourovne. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*. 2014. Vyp. 3(36), t. 17. 112 s. (rus)

КОСОЛАПОВА Наталья Алексеевна – доцент Южного федерального университета, кандидат технических наук.

344006, ул. Б. Садовая, д. 105, г. Ростов-на-Дону, Россия. E-mail: nakosolapova@sfedu.ru

KOSOLAPOVA Natal'ia A. – Southern Federal University.

344006. B. Sadovaya str. 105. Rostov-on-Don. Russia. E-mail: nakosolapova@sfedu.ru

МАТВЕЕВА Людмила Григорьевна – заведующий кафедрой Южного федерального университета, доктор экономических наук.

344006, ул. Б. Садовая, д. 105, г. Ростов-на-Дону, Россия. E-mail: matveeva_lg@mail.ru

MATVEEVA Liudmila G. – Southern Federal University.

344006. B. Sadovaya str. 105. Rostov-on-Don. Russia. E-mail: matveeva_lg@mail.ru