

Людмила Александровна ВОЛОДЧЕНКОВА<sup>1</sup>  
Александр Константинович ГУЦ<sup>2</sup>

УДК 519.83+630.181

## ЗАЩИТА ЛЕСОВ ОТ БОЛЕЗНЕЙ И ВРЕДИТЕЛЕЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ИГР

<sup>1</sup> кандидат биологических наук,  
старший преподаватель кафедры кибернетики,  
Омский государственный университет  
volodchenkova2008@yandex.ru

<sup>2</sup> доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры кибернетики,  
Омский государственный университет  
aguts@mail.ru

### Аннотация

В данной статье предлагается рассматривать планирование мероприятий по защите леса от заболеваний и вредителей как стохастическую игру с «природой» в рамках математической теории игр.

### Ключевые слова

Модель защиты леса, болезни леса, вредители, стохастическая теория игр, стратегии.

DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-1-110-123

Успешная защита лесов обеспечивается за счет заранее составленного и хорошо продуманного плана проведения лесозащитных мероприятий. Любое лесозащитное мероприятия требует финансовых вложений, и, естественно, соответствующие денежные инвестиции должны быть эффективно потрачены. Поэтому, прежде чем соответствующий план защиты лесов будет принят к исполнению региональным Лесным управлением, хотелось бы иметь инструмент, с помощью

---

**Цитирование:** Володченкова Л. А. Защита лесов от болезней и вредителей с точки зрения теории игр / Л. А. Володченкова, А. К. Гуц // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2016. Т. 2. № 1. С. 110-123.

DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-1-110-123

которого можно было бы проверить эффективность намеченных действий. Особо ценной была бы предоставляемая этим инструментом возможность заранее «проиграть» кризисные ситуации, в которых оказались конкретные лесонасаждения по той или иной причине.

В статье [2] мы продемонстрировали полезность использования теории стратегических игр в задачах защиты лесов, а в статье [1] показали, как задачи противодействия лесным пожарам и подтоплениям леса можно решать с помощью стохастических игр. В этой статье предлагается модель принятия решений при организации защиты леса от болезней и вредителей, основанная на теории стохастических игр.

### 1. Стохастические игры

*Стохастическая игра* — это многошаговая игра, в которой имеется несколько игровых состояний, и переход от одного состояния к другому совершается с определенной вероятностью, а игроки совершают определенные действия.

В начале каждого шага игра находится в некотором состоянии. Игроки выбирают свои действия и получают выигрыши, зависящие от текущего состояния и действий. После этого система переходит случайным образом в другое состояние, распределение вероятности переходов зависит от предшествующего состояния и действий игроков. Эта процедура повторяется в течение конечного или бесконечного числа шагов.

При конечном числе игроков, конечных множествах действий и состояний игра с конечным числом повторений всегда имеет равновесие Нэша.

На каждом шаге игры предусматриваются выигрыши. В стохастической игре возможны возвращения к предшествующей позиции.

С целью предотвращения бесконечного продолжения игры и бесконечно большого выигрыша вводится правило, по которому задаются такие переходные вероятности, чтобы бесконечное продолжение игры имело вероятность нуль, а математическое ожидание выигрыша было конечным.

*Стохастическая игра с двумя игроками* [5; 6] — это кортеж

$$(S, A^1, A^2, Q, R^1, R^2, \beta),$$

где

$S = \{s_1, \dots, s_N\}$  — множество состояний игры;

$A^k = \{\alpha_1^k, \dots, \alpha_{M^k}^k\}$ ,  $k = 1, 2$  — набор действий игрока  $P_k$ ; набор действий

$A_s^k$  для игрока  $P_k$  в состоянии  $s$  — это подмножество множества  $A^k$ , то есть

$$A_s^k \subset A^k \text{ и } \bigcup_{s \in S} A_s^k = A^k. M^k = \text{card}(A^k) = |A^k|;$$

$Q: S \times A^1 \times A^2 \times S \rightarrow [0, 1]$  — переходная функция состояний, и

$R^1: S \times A^1 \times A^2 \rightarrow \mathbb{R}$ ,  $R^2: S \times A^1 \times A^2 \rightarrow \mathbb{R}$  — выигрышные функции игроков;

$\beta$ ,  $0 < \beta \leq 1$  — коэффициент обесценивания (дисконтирования, discount), обесценивающий будущие вознаграждения, т. е. при каждом переходе в новые

состояния вознаграждение уменьшается в  $\beta$  раз от его полной стоимости в текущем состоянии.

В игру играют следующим образом:

- в момент дискретного времени  $t \in [0, N]$  игра находится в состоянии  $s_t \in S$ ;
- игрок  $P_1$  выбирает действие  $a_t^1 \in A^1$  и игрок  $P_2$  выбирает действие  $a_t^2 \in A^2$ ; игрок  $P_1$  тогда получает вознаграждение  $r_t^1 = R^1(s_t, a_t^1, a_t^2)$ , и игрок  $P_2$  получает вознаграждение  $r_t^2 = R^2(s_t, a_t^1, a_t^2)$ ;
- игра затем переходит в новое состояние  $s_{t+1}$  с условной вероятностью  $P(s_{t+1} | s_t, a_t^1, a_t^2)$ , равной  $Q(s_t, a_t^1, a_t^2, s_{t+1})$ .

1.1. Стационарные стратегии. Пусть

$$\Omega^n = \{(p_1, \dots, p_n) \in \mathbb{R}^n : \sum_{i=1}^n p_i = 1, p_i \geq 0\}.$$

Стационарная стратегия игрока  $P_k$  ( $k = 1, 2$ ) — это отображение

$$p^k : S \rightarrow \Omega^{M^k}.$$

Тогда

$$p^k(s) = (p_1^k(s), \dots, p_{M^k}^k(s)).$$

Интерпретируем число  $p_j^k(s)$  как вероятность того, что, находясь в состоянии  $s$ , игрок  $P_k$  совершит действие  $a_j^k \in A^k$ .

Стационарная стратегия игрока  $P_k$  независима от времени  $t$  и истории.

*Смешанная*, или рандомизированная, стационарная стратегия — это та стратегия, для которой  $p_j^k(s) \geq 0$  для  $\forall s \in S$  и  $\forall j \in \{1, \dots, M^k\}$ , а *чистая стратегия* — та, где  $p_{j_0}^k(s) = 1$  для некоторого  $j_0$ .

1.2. Ожидаемый доход игроков в стохастической игре. Цель каждого игрока — максимизировать некоторый ожидаемый доход. Пусть  $s_t$  — состояние во время  $t$ , а  $r_t^k$  — вознаграждение, полученное игроком  $P_k$  ( $k = 1, 2$ ) во время  $t$ .

Определим ожидаемый выигрыш как вектор-колонку

$$v_{p^1, p^2}^k = (v_{p^1, p^2}^k(s_1), \dots, v_{p^1, p^2}^k(s_N))^T,$$

где

$$v_{p^1, p^2}^k(s) = E_{p^1, p^2} \{r_t^k + \beta r_{t+1}^k + \beta^2 r_{t+2}^k + \beta^N r_{t+N}^k \mid s_t = s\} = E_{p^1, p^2} \left\{ \sum_{n=0}^N \beta^n r_{t+n}^k \mid s_t = s \right\}.$$

Оператор ожидания  $E_{p^1, p^2}$  используется, чтобы показать, что игрок  $P_k$  применяет вероятностную стратегию  $p^k$ , точнее, игрок  $P_k$  выбирает действие, используя распределение вероятности  $p^k(s_{t+n})$  в  $s_{t+n}$  и получает непосредственное вознаграждение

$$r_{t+n}^k = p^1(s_{t+n})^T R^k(s_{t+n}) p^2(s_{t+n})$$

для  $n \geq 0$ , где

$$R^k(s) = \| R^k(s, a_1, a_2) \|_{a_1 \in A^1, a_2 \in A^2}$$

представляет премиальную матрицу игрока  $P_k$  в состоянии  $s$ , строки и столбцы которой помечены индексами  $a_1$  и  $a_2$ .

Для игры бесконечной по времени  $N = \infty$  (с бесконечным повторением) принимается  $\beta < 1$ . Тогда  $v^k$  — ожидаемый дисконтированный выигрыш. Для игры конечной по времени ( $N < \infty$ ) —  $\beta = 1$ . Векторы  $v^k$  называют также вектор-значением игрока  $P_k$ .

1.3. *Равновесие Нэша* — это пара стационарных стратегий  $(p_*^1, p_*^2)$ , для которых

$$v_{p_*^1, p_*^2}^1 \geq v_{p^1, p_*^2}^1 \quad \text{для } \forall p^1 \in \Omega^{M^1},$$

$$v_{p_*^1, p_*^2}^2 \geq v_{p_*^1, p^2}^2 \quad \text{для } \forall p^2 \in \Omega^{M^2}$$

выполняются покомпонентно [5; 6].

В равновесии у игроков нет стимула, чтобы отклониться от их стратегий равновесия. Отклонение будет означать, что один или оба игрока будут иметь более низкие ожидаемые выигрыши, то есть,  $v_{p^1, p_*^2}^1$  и/или  $v_{p_*^1, p^2}^2$ . Пара стратегий, являющихся равновесием Нэша, известны как лучшие выигрыши, т. е. если игрок  $P_1$  играет  $\pi_*^1$ , то лучший ответ для игрока  $P_2$  есть  $\pi_*^2$ , и наоборот.

Игра с ожидаемым дисконтированным выигрышем имеет хотя бы одно равновесие Нэша в смешанных стационарных стратегиях.

В игре с  $N = \infty$  для вычисления равновесия Нэша используется нелинейная программа NLP-1 из [3]. В случае  $N < \infty$  надо воспользоваться программой из [4].

## 2. Игровая модель защиты леса

Окружающая внешняя среда, включающая как природные условия, так и следствия антропогенной деятельности, рассматривается как игрок, называемый

традиционно «Природой», который противостоит другому игроку, под которым понимается Лесное управление региона, координирующее и направляющее деятельность лесхозов (лесничеств), расположенных на территории региона.

Лесхозы являются местными представительствами региональных структур Государственной лесной службы Министерства природных ресурсов, в их задачу входит управление лесами на конкретной территории лесного фонда.

Территория лесхоза поделена на лесничества, которые, в свою очередь, поделены на кварталы и выделы. Разделение на кварталы облегчает работы по инвентаризации насаждений, создает благоприятные условия для доступа в лес и ориентирования в нем.

Состояния лесов региона могут означать наличие в распоряжении Лесных управлений регионов, лесничеств информации, относящейся к распределению площадей и запасов лесов, к охране, защите и воспроизводству лесов на территории региона, к анализу расходов на ведение лесного хозяйства, к сведениям, запланированных и фактически выполненных объемов профилактических противопожарных, санитарно-оздоровительных мероприятий, к данным об ущербе от лесных пожаров, и т. д.

*2.1. Описание игровой модели.* Стохастическую игровую модель защиты леса мы строим, опираясь на работы [5; 6]. Игроку «внешняя агрессивная среда», или «Природа», обозначаемому как *Attacker*, противостоят работники лесного управления и лесничеств, которых объединяем под именем игрока *Workers*.

Множество кварталов лесничества образуют сеть кварталов, или квартальную сеть. Все элементы этой сети находятся в отношениях как с лесничеством, так и с лесным управлением.

Предлагаемая сетевая модель представлена на рис. 1

Мы ограничимся только одним лесничеством, которое следит за своими лесными кварталами и взаимодействует с лесным управлением.

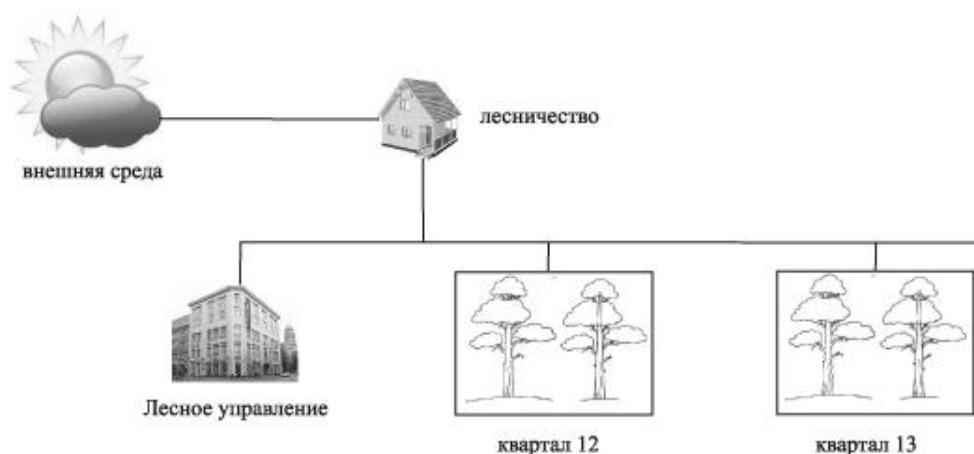


Рис 1. Пример сети лесных кварталов

Рассмотрим леса региона в виде графа, изображенного на рис. 2. Вершины графа являются такими объектами как внешняя окружающая агрессивная среда (вершина  $E$ ), лесничество, относящееся к данному региону (вершина  $L$ ), лесное управление (вершина  $U$ ), квартал (вершина  $K$ ). Ребра графа представляют пути непосредственного взаимодействия между рассматриваемыми объектами. Например, внешняя среда (узел  $E$ ) имеет прямое воздействие  $l_{EL}$  на леса лесничества.

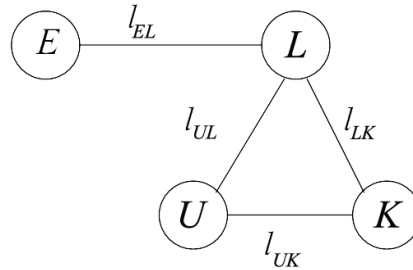


Рис. 2. Система «Среда-управление-лесничество-квартал» как граф

2.2. Состояния игры. Пусть

1)

$$P \subset \{ \text{Антиболезни, Антивредители, Антипожар,} \\ \text{Мониторинг _заболеваний _и _вредных _организмов,} \\ \text{Борьба _с _вытаптыванием _растений _животными, ..., process} \} \quad (1)$$

— перечень профинансированных запланированных лесозащитных мероприятий, данных под условными наименованиями. Буквами  $s, v, \dots$  помечать будем «Антиболезни», «Антивредители» и пр. Под *process* понимаем проводимый лесничеством тип лесозащитных работ;

2)  $a \in \{u, c\}$

— переменная, представляющая состояние леса, отраженной в записи в «Карточке лесопатологической таксации», заведенной для каждого квартала, входящего в лесничество; выбирается  $u$ , если в строке «Причины ослабления насаждения» нет кода, говорящего о неблагоприятном состоянии леса, и выбирается  $c$ , если есть код, говорящий о неблагоприятности<sup>1</sup>;

3)  $d \in \{c, i\}$

— переменная, представляющая состояние данных в вершине графа 2;  $c$  — полная деградация леса,  $i$  — нет признаков деградации леса.

Вводим состояния системы «Среда-управление-лесничество-квартал»:

$$S = \{n_L, n_U, n_K, t\},$$

<sup>1</sup> Например, код 831 означает вымокание леса.

где

$$n_X = (P, a, d) \quad X \in \{L, U, K, E\},$$

и  $t$  — состояние взаимодействий в системе.

Следовательно, например, если

$$n_L = (\{ \text{Антиболезни, Антивредители, Анти...} \}, c, i),$$

то это говорит о том, что в лесничестве получены средства под программы *Антиболезни, Антивредители, Анти...*, состояние леса в некоторых кварталах находятся под угрозой, но отсутствуют кварталы с полностью деградированным лесом.

Скорость, с которой передаются воздействия от одного элемента системы к другому (traffic) для системы в целом, представляется состоянием взаимодействия  $t = \langle \{l_{XY}\} \rangle$ , где  $X$  и  $Y$  — вершины графа сети кварталом и  $l_{XY} \in \{0, 1/3, 2/3, 1\}$  указывает на качество осуществляемого взаимодействия данному каналу. Цифра 1 говорит о задействовании максимума возможностей, 0 — отсутствие воздействия.

Для взаимодействия между вершинами графа сети, характеризуемого как *нормальное*, берем  $t = \langle 1/3, 1/3, 1/3, 1/3 \rangle$ .

**2.3. Действия игры.** Действия внешней среды и лесного управления заставляют систему переходить из одного состояния в другое с определенной вероятностью.

Отдельно взятое действие внешней среды может быть любой частью из его стратегии «нападения», такой как, например, заболевание леса. Подобные действия природы воспринимаем как *атаку* на лес. Поэтому для воздействий внешней среды закрепим термин *Attacker*. Когда игрок ничего не делает, мы обозначаем это бездействие как  $\emptyset$ .

Совокупность действий внешней среды состоит из всех действий, которые он может совершить во всех состояниях:

$$\begin{aligned} A^{Attacker} = \\ = \{ \text{Заболевание\_леса, Нашествие\_вредных\_организмов, Начать\_пожар, Подтопление,} \\ \text{Лес\_болен, Лес\_гибнет, Заражение\_леса\_и\_нашествие\_вредителей, Добавить\_} \\ \text{\_источник\_загрязнения, Вытаптывание\_растений\_животными, Засушливая\_погода,} \\ \text{Деньги\_не\_дошли\_до\_лесничества, "Пустой"\_бюджет\_Лесного\_управления, ..., \emptyset} \}. \end{aligned}$$

Действия внешней среды в каждом состоянии — это подмножество множества  $A^{Attacker}$ . Действия для работников лесного управления и лесничества главным образом сводятся к профилактическим или восстановительным мерам. Множество действий работников (workers) таково:

$$\begin{aligned} A^{Workers} = \\ = \{ \text{Уничтожить\_вредные\_организмы\_и\_источник\_заражения(болезни),} \\ \text{Мониторинг\_болезней\_и\_вредителей, Устранить\_источник\_загрязнений,} \\ \text{Восстановить\_лесонасаждение, Борьба\_с\_подтоплением\_леса,} \\ \text{Борьба\_с\_вытаптыванием\_леса\_животными\_и\_болезнями, ..., \emptyset} \}. \end{aligned}$$

Квартал с проблемным лесом может быть попавшим в поле внимания Управления (лесничества), а может быть и незамеченным (плохая работа лесничих, отсутствие финансирования). Когда неблагополучная ситуация незамечена, мы моделируем ситуацию как ситуацию нахождения Управления (лесничество) в состоянии бездействия ( $\emptyset$ ). Мы предполагаем, что Управление не знает, есть ли факт угрозы лесу или нет. Следует учитывать, что внешняя среда может иметь несколько стратегий, о которых не знает Управление. Более того, не все действия внешней среды могут наблюдаться.

2.4. *Вероятности переходов.* В изучаемом примере квартальной сети значения для вероятностей изменения состояния сети даем, основываясь на собственной интуиции.

Для реальных квартальных сетей необходимые вероятности следует находить, естественно, используя дополнительные исследования и накапливая необходимую статистику. На рис. 3 и 4 изменения состояния сети представлены стрелами. Каждая стрела маркирована действием, переходной вероятностью и стоимостью/вознаграждением.

В формальной модели игры вероятность изменения состояния является функцией действий обоих игроков. Такие вероятности используются в компьютерной нелинейной программе *NLP-1*, применяемой для вычисления решения игры. Однако, чтобы реализовать разделение игры на игру с точки зрения природы (рис. 3) и с точки зрения *Workers* (рис. 4), принимается, что вероятности зависят от действий каждого игрока в отдельности.

2.5. *Платежи, затраты и вознаграждения.* Затраты (отрицательные значения) и вознаграждения (положительные значения) связаны с действиями внешней среды и *Workers*. Для действий внешней среды имеем, главным образом, вознаграждения, и такие вознаграждения выражаются в рублевой оценке понесенного урона, которые нанесен квартальной сети.

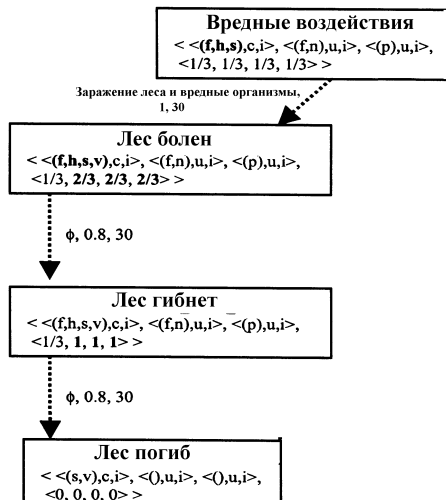


Рис. 3. Игра с точки зрения игрока «Природа»

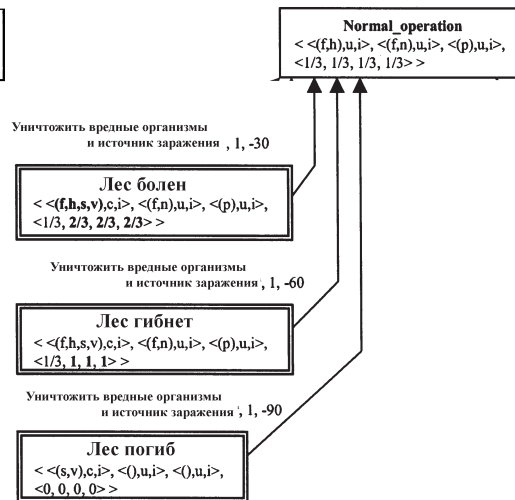


Рис. 4. Игра с точки зрения *Workers*



В рассматриваемой модели ограничиваемся временными затратами *Workers* на восстановительные работы. Вознаграждение за действия внешней среды также можно оценивать временем, которое необходимо *Workers* на восстановление леса, т. е. на перевод одного состояния квартальной сети в другое.

Чтобы подчеркнуть серьезность потери важных лесных ресурсов или расположенных в лесу строений, назначаем очень высокое вознаграждение за действие природы, которое приводит к состоянию, в котором реализуется печальное событие. Например, при переходе из состояния *Квартал атакован* к состоянию *Кварталу нанесен ущерб* на рис. 3 вознаграждение равно 999. Есть также некоторые переходы, в которых потери для *Workers* не такие же как величина вознаграждения игрока «Природа». Именно такие переходы делают игру игрой с общей суммой вместо игры с нулевой суммой.

**2.6. Стратегии.** Наша цель — найти пару смешанных стационарных равновесий Нэша  $p_*^{Attacker}$ ,  $p_*^{Workers}$ , состоящих из действий, которые соответствуют стратегиям игроков «Природа» и *Workers*. Стохастическая игра с общей суммой имеет хотя бы одно равновесие Нэша в смешанных стационарных стратегиях. Для их нахождения использована программа *NLP-1* в *MATLAB*.

### 3. Пример сценария «атаки» «Природы» на квартальную сеть

В этом параграфе представим один из возможных сценариев «нападения Природы» на квартальную сеть, который связан с катастрофическим размножением вредных организмов и болезнью леса. Описываем действия обоих игроков.

Из состояния *Вредные воздействия* игрок «Природа» начинает заражение квартала. Его действия

$$A_{\text{Вредные\_воздействия}}^{\text{Attacker}} = \{\text{Заражение\_леса\_и\_вредные\_организмы}, \text{Заболевание\_леса}, \text{Засушливая\_погода}\}.$$

С вероятностью 1 и вознаграждением 30 происходит переход к состоянию *Лес болен* (строка 10 в таблице из [5]). В этом состоянии traffic увеличился от 1/3 до 2/3 (см. рис. 4). На следующем шаге происходит ухудшение состояние леса и система переходит с вероятностью 0,8 к состоянию *Лес гибнет*, даже когда «Природа» ничего не делает. При этом traffic говорит о полной загрузке всех каналов, т. е. все  $I_{AB} = 1$ . Мы предполагаем, что с вероятностью 0,2 игрок *Workers* замечает это и принимает меры, чтобы восстановить лесную систему. Состояние может ухудшиться с вероятностью 0,8 до состояния *Лес погиб*, в котором можно надеяться только на постепенную вторичную сукцессию.

На рис. 3 показано как игрок «Природа» видит изменения состояний квартальной сети в результате его «нападения», а на рис. 4 представлена точка зрения игрока *Workers*. На рисунках состояния изображаются как прямоугольники, содержащие символическое имя и значения параметров для этого состояния. Каждый переход помечен действием, вероятностью перехода, выгодой или стоимостью восстановительных усилий, затрачиваемых *Workers* в случае непорядка в квартальной сети.

Атакует хойственно важный квартал сети, на котором возможно как заболевание леса, так и нашествие вредителей. Беспечность (бездействие) игрока *Workers*

$$A_{\text{Вредные\_воздействия}}^{\text{Workers}} = \{\emptyset, \emptyset, \emptyset\}$$

способствует как заболеванию леса, так и массовому проникновению вредоносных организмов. Игрок «Природа» в таком случае легко может нанести ущерб кварталу и покинуть «поле игры» победителем. Для данного сценария изменения состояния обозначены стрелками на рис. 3.

3.1. *Результаты моделирования.* Применение программы *NLP-1* позволило найти равновесие Нэша для различных сценариев нападения на квартальную сеть, представленную на рис. 1. Результаты расчетов даны в таблицах 1, 2 и 3 в [7].

Стратегия игрока состоит из распределения вероятности по набору действия для каждого состояния.

Например, для состояния *Лес болен*

$$p_*^{\text{Attacker}} = [0,33;0,33;0,33], p_*^{\text{Workers}} = [1,00;0,00;0,00]$$

и соответствующие вознаграждение и затраты

$$v_{\text{Attacker}}^1 = 106,7; v_{\text{Workers}}^2 = -106,1.$$

Цифры в квадратных скобках — это вероятности действий игроков, которые находит программа *NLP-1*. Для игрока «Природа» эти действия таковы:

$$A_{\text{Лес\_болен}}^{\text{Attacker}} = \{\emptyset, \emptyset, \emptyset\}.$$

А действия игрока *Workers*:

$$\{\text{Уничтожить\_вредные\_организмы\_и\_источник\_заражения}, \emptyset, \emptyset\}.$$

Для состояния *Лес гибнет*

$$p_*^{\text{Attacker}} = [0,34;0,33;0,33], p_*^{\text{Workers}} = [1,00;0,00;0,00]$$

и соответствующие вознаграждение и затраты

$$v_{\text{Attacker}} = 96,5; v_{\text{Workers}} = -96,0.$$

Для игрока «Природа» действия:

$$A_{\text{Лес\_гибнет}}^{\text{Attacker}} = \{\emptyset, \emptyset, \emptyset\},$$

а действия игрока *Workers*:

$$\{\text{Уничтожить\_вредные\_организмы\_и\_очаг\_болезни}, \emptyset, \emptyset\}.$$

Для состояния *Лес погиб*

$$p_*^{\text{Attacker}} = [0,33;0,33;0,33], p_*^{\text{Workers}} = [0,33;0,33;0,33],$$

$$v_{\text{Attacker}} = 80,4; v_{\text{Workers}} = -80,0.$$

В состоянии *Лес погиб* игрок «Природа» совершает действия

$$A_{\text{Лес\_погиб}}^{\text{Attacker}} = \{\emptyset, \emptyset, \emptyset\},$$

а игрок *Workers* —

{ Уничтожить\_вредные\_организмы\_и\_источник\_заражения,  $\emptyset, \emptyset$  }.

Все эти данные показывают, что лучше постоянно устранять причины возможного заражения и проникновения вредных организмов, чем продолжать надеяться на «авось» во взаимоотношениях с Природой.

3.2. *Две другие партии.* В других партиях имели другие распределения вероятностей в равновесии Нэша (программа NLP-1 запускалась с различными исходными данными; см. табл. 1, 2) [5].

Таблица 1

## Результаты партии 2

Состояние	Партия 2	Вознаграждение и затрата
Вредное воздействие	$p_1^* = [0,00;0,53;0,47], p_2^* = [0,34;0,42;0,24]$	$v^1 = 719,0; v^2 = -690,0$
Лес болен	$p_1^* = [0,24;0,40;0,35], p_2^* = [0,52;0,29;0,19]$	$v^1 = 140,5; v^2 = -93,7$
Лес гибнет	$p_1^* = [0,33;0,39;0,28], p_2^* = [0,00;0,59;0,41]$	$v^1 = 97,7; v^2 = -84,8$

Таблица 2

## Результаты партии 3

Состояние	Партия 3	Вознаграждение и затрата
Вредное воздействие	$p_1^* = [0,00;0,49;0,51], p_2^* = [0,33;0,35;0,32]$	$v^1 = 730,7; v^2 = -685,7$
Лес болен	$p_1^* = [0,27;0,29;0,44], p_2^* = [1,00;0,00;0,00]$	$v^1 = 179,3; v^2 = -52,9$
Лес гибнет	$p_1^* = [0,38;0,29;0,34], p_2^* = [0,90;0,05;0,06]$	$v^1 = 171,5; v^2 = -82,9$

**Выводы**

В статье рассмотрен простейший сценарий заболевания леса и нашествия вредных организмов. Найденные оптимальные стратегии защиты — равновесия Нэша — дают вполне ожидаемый набор действий Лесного управления. Иного не следовало ожидать, поскольку работа носила демонстрационный характер. Для практического использования теории стохастических игр в задачах защиты лесов необходима разработка специализированного программного обеспечения, учитывающего все аспекты планирования лесозащитных мероприятий, имею-

щего особенности для каждого отдельно взятого региона, не забывая при этом о финансировании деятельности Лесных управлений и лесничеств и ввод в базу данных программного продукта огромного массива самых разнообразных данных, касающихся жизнедеятельности лесов.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гуц А. К. Защита леса как стохастическая игра / А. К. Гуц, Л. А. Володченко // Математические структуры и моделирование. 2014. № 2 (30). С. 49-61.
2. Гуц А. К. Защита леса как стратегическая игра / А. К. Гуц, Л. А. Володченко // Математические структуры и моделирование. 2013. № 2 (28). С. 43-48.
3. Filar J. Competitive Markov Decision Processes / J. Filar, K. Vrieze. Springer-Verlag, 1997.
4. Fudenberg D. Game Theory / D. Fudenberg, J. Tirole. MIT Press, 1991.
5. Lye Kong-wei. Game Strategies in Network Security / Kong-wei Lye, J. Wing // School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2002. 14 pp.
6. Lye Kong-wei. Game Strategies in Network Security / Kong-wei Lye, J. Wing // International Journal of Information Security. 2005. Vol. 4. No 1-2. Pp. 71-86.
7. Lye Kong-wei. Game strategies in network security / Kong-wei Lye, J. Wing // International Journal of Information Security. 2005. DOI: 10.1007/s10207-004-0060-x

**Ludmila A. VOLODCHENKOVA<sup>1</sup>**

**Alexander K. GUTS<sup>2</sup>**

**FOREST PROTECTION AGAINST DISEASES  
AND PESTS IN THE CONTEXT OF GAME THEORY**

<sup>1</sup> Cand. Sci. (Biol.), Senior Lecturer,  
Department of Cybernetics,  
Dostoevskiy Omsk State University  
volodchenkova2008@yandex.ru

<sup>2</sup> Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor,  
Department of Cybernetics,  
Dostoevskiy Omsk State University  
aguts@mail.ru

**Abstract**

We introduce the planning of forest protection measures against diseases and pests that can be considered as a stochastic game with the “nature” as a part of the mathematical game theory.

**Keywords**

Forest protection model, forest diseases, pests, stochastic game theory, strategies.

**DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-1-110-123**

**REFERENCES**

1. Filar J., Vrieze K. 1997. Competitive Markov Decision Processes. Springer-Verlag.
2. Fudenberg D., Tirole J. 1991. Game Theory. MIT Press.
3. Guts A. K., Volodchenkova L. A. 2013. “Zashhita lesa kak strategicheskaja igra” [Forest Protection as a Strategic Game]. *Matematicheskie struktury i modelirovanie*, no 2 (28), pp. 43-48.

---

**Citation:** Volodchenkova L. A., Guts A. K. 2016. “Forest Protection Against Diseases and Pests in the Context of Game Theory.” *Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy*, vol. 2, no 1, pp. 110-123.  
DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-1-110-123

---

4. Guts A. K., Volodchenkova L. A. 2014. "Zashhita lesa kak stohasticheskaya igra" [Forest Protection as a Stochastic Game]. *Matematicheskie struktury i modelirovanie*, no 2 (30), pp. 49-61.
5. Lye Kong-wei, Wing J. 2002. Game strategies in network security. School of computer science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh.
6. Lye Kong-wei, Wing J. 2005. "Game strategies in network security." *International Journal of Information Security*, vol. 4, no. 1-2, pp. 71-86.
7. Lye Kong-wei, Wing J. 2005. "Game strategies in network security." *International Journal of Information Security*. DOI: 10.1007/s10207-004-0060-x