Людмила Александровна ВОЛОДЧЕНКОВА[1]
Александр Константинович ГУЦ[2]

УДК 519.83+630.181

ЗАЩИТА ЛЕСОВ ОТ БОЛЕЗНЕЙ И ВРЕДИТЕЛЕЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ИГР

[1] кандидат биологических наук,
старший преподаватель кафедры кибернетики,
Омский государственный университет
volodchenkova2008@yandex.ru

[2] 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 соответстующий 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

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

$A^k = \{\alpha_1^k, ..., \alpha_{M^k}^k\}$, $k = 1,2$ — набор действий игрока P_k; набор действий A_s^k для игрока P_k в состоянии s — это подмножество множества A^k, то есть $A_s^k \subset A^k$ и $\bigcup_{s \in S} A_s^k = A^k$. $M^k = card(A^k) = |A^k|$;

$Q : S \times A^1 \times A^2 \times S \to [0,1]$ — переходная функция состояний, и $R^1 : S \times A^1 \times A^2 \to \mathrm{IR}, R^2 : S \times A^1 \times A^2 \to \mathrm{IR}$ — выигрышные функции игроков;

β, $0 < \beta \le 1$ — коэффициент обесценивания (дисконтирования, discount), обесценивающий будущие вознаграждения, т. е. при каждом переходе в новые состояния вознаграждение уменьшается в β 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 $P(s_{t+1} \mid s_t, a_t^1, a_t^2)$, равной $Q(s_t, a_t^1, a_t^2, s_{t+1})$.

1.1. Стационарные стратегии. Пусть

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

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

$$p^k : S \to \Omega^{M_k}.$$

Тогда

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

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

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 $\forall j \in \{1, ..., M^k\}$, 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

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

где

$$v^k_{p^1,p^2}(s) = E_{p^1,p^2}\{r^k_t + \beta r^k_{t+1} + \beta^2 r^k_{t+2} + \beta^N r^k_{t+N} \mid s_t = s\} = E_{p^1,p^2}\left\{\sum_{n=0}^{N}\beta^n r^k_{t+n} \mid s_t = s\right\}.$$

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

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

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

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

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

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, $v^1_{p^1,p^2}$ и/или $v^2_{p^1,p^2}$. Пара стратегий, являющихся равновесием Нэша, известны как лучшие выигрыши, т. е. если игрок P_1 играет π_*^1, то лучший ответ для игрока P_2 есть π_*^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

Окружающаяся 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 лесничечества образуют сеть кварталов, или квартальную сеть. Все элементы этой сети находятся в отношениях как с лесничеством, так и с лесным управленим.

Предлагаемая сетевая модель представлена на рис. 1

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

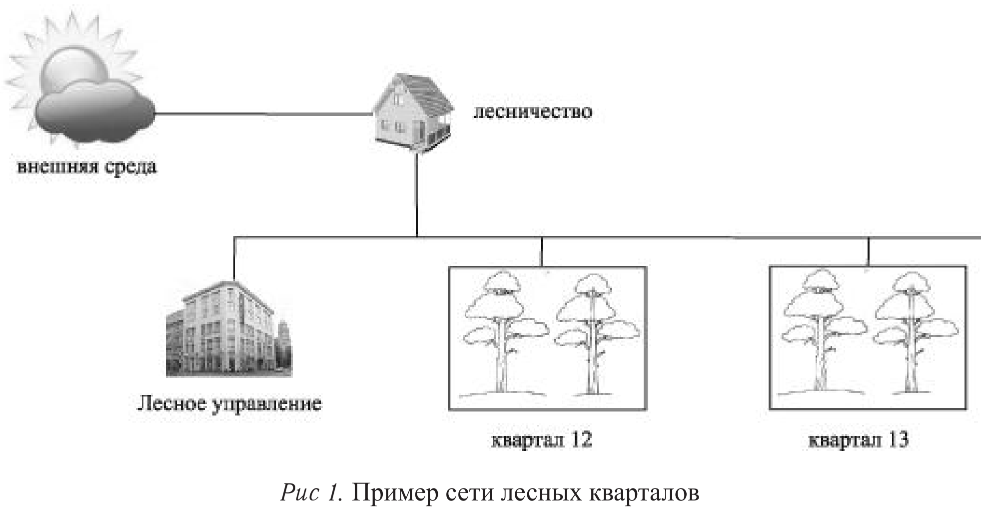

Рис 1. Пример сети лесных кварталов

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.

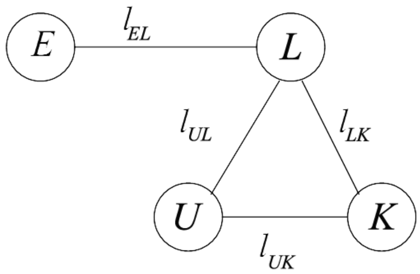

Рис. 2. Система «Среда-управление-лесничество-квартал» как граф

2.2. Состояния игры. Пусть

1)

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

— перечень профинансированных запланированных лесозащитных мероприятий, данных под условными наименованиями. Буквами $s, v, ...$ 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 «Карточки лесопатологической таксации», заведенной для каждого квартала, входящего в лесничество; выбирается u, если в строке «Причины ослабления насаждения» нет кода, говорящего о неблагополучном состоянии леса, и выбирается c, если есть код, говорящий о неблагоролучии[1];

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»:

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

[1] 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

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

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 полнойстью деградированным лесом.

Скорость, с которой передаются воздействия от одного элемента системы к другому (traffic) для системы в целом, представляется состоянием взаимодействия $t = <\{l_{XY}\}>$, 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 $t = <1/3, 1/3, 1/3, 1/3>$.

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 $\varnothing$.

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

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

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:

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

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 ($\varnothing$). 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 разделения 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.

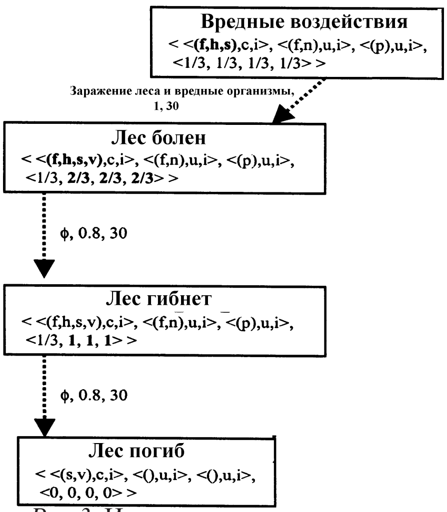

Рис 3. Игра с точки зрения игрока «Природа»

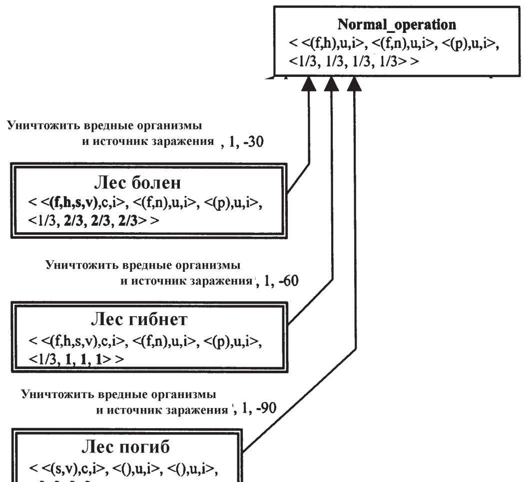

Рис. 4. Игра с точки зрения *Workers*

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 нулевым 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

$$A^{Attacker}_{Вредные\_воздействия} =$$

$$= \{Заражение\_леса\_и\_вредные\_организмы, Заболевание\_леса, Засушливая\_погода\}.$$

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 $l_{AB} = 1$. Мы предполагаем, что с вероятность 0,2 игрок *Workers* замечает это и принимает меры, чтобы восстановить лесную систему. Состояние может ухудшится в вероятностью 0,8 до состояни *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.

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

$$A^{Workers}_{Вредные\_воздействия} = \{\varnothing,\varnothing,\varnothing\}$$

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*

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

и соответствующие вознаграждение и затраты

$$v^1_{Attacker} = 106{,}7;\quad v^2_{Workers} = -106{,}1.$$

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

$$A^{Attacker}_{Лес\_болен} = \{\varnothing,\varnothing,\varnothing\}.$$

А действия игрока *Workers*:

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

Для состояния *Лес гибнет*

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

и соответствующие вознаграждение и затраты

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

Для игрока «Природа» действия:

$$A^{Attacker}_{Лес\_гибнет} = \{\varnothing,\varnothing,\varnothing\},$$

а действия игрока *Workers*:

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

Для состояния *Лес погиб*

$$p_*^{Attacker} = [0{,}33;0{,}33;0{,}33],\ p_*^{Workers} = [0{,}33;0{,}33;0{,}33],$$
$$v_{Attacker} = 80{,}4;\quad v_{Workers} = -80{,}0.$$

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

$$A^{Attacker}_{Лес\_погиб} = \{\varnothing,\varnothing,\varnothing\},$$

а игрок *Workers* —

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

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**	**Вогнагражение 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**	**Вогнагражение 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, имеющего 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. Володченкова // Математические структуры и моделирование. 2014. № 2 (30). С. 49-61.
2. Гуц А. К. Защита леса как стратегическая игра / А. К. Гуц, Л. А. Володченкова // 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[1]
Alexander K. GUTS[2]

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

[1] Cand. Sci. (Biol.), Senior Lecturer,
Department of Cybernetics,
Dostoevskiy Omsk State University
volodchenkova2008@yandex.ru

[2] 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