Инженерный вестник Дона, №5 (2021)
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6989

Модель оптимального управления деятельностью национального парка

В.С. Редун, А.Б. Усов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Усиливающаяся непрерывными темпами хозяйственная деятельность человека приводит к изменениям многих природных систем. Их восстановление является на нынешний день одной из самых важных задач. Для этого были созданы особо охраняемые природные территории: заповедники, национальные парки, резерваты, заказники. Особый интерес представляют национальные парки, поскольку это единственная охраняемая территория из перечисленных выше, на которой допускается и организуется туризм. Однако их деятельность не может существовать без достаточной финансовой поддержки. В данной статье описывается двухуровневая математическая модель оптимального управления деятельностью национального парка. В процессе исследования модели программно реализуется алгоритм нахождения равновесия Штакельберга, при котором национальный парк может продолжать устойчиво функционировать.

Ключевые слова: двухуровневая иерархическая модель, равновесие Штакельберга, национальный парк, ведущий, ведомый, субъекты управления, параметры управления.

Введение

Экосистема представляет из себя сообщество видов, которые постоянно взаимодействуют друг с другом, мигрируют и изменяют свою численность. На все популяции, которые существуют в экосистеме, дополнительно оказывают воздействие разнообразные природные и антропогенные факторы. Численность популяции напрямую зависит от таких факторов, как погодные условия, химический состав окружающей среды. Всё это относится к абиотическим природным факторам. Охота, браконьерство, рыболовство – это примеры антропогенной деятельности человека, при нерациональном подходе приводящие к резкому сокращению численности многих популяций. Более того, усиливающаяся непрерывными темпами хозяйственная деятельность человека постепенно и необратимо приводит к изменениям многих природных систем. Восстановление природных систем и их наиболее рациональное использование является на нынешний день одной из самых важных задач, так как дальнейшее существование и развитие общества возможно только в полной гармонии с природой.

Человечество давно осознавало эту проблему. Для её решения были предприняты различные меры, в числе которых было создание особо охраняемых природных территорий: заповедников, национальных парков, резерватов, заказников. Особый интерес представляют национальные парки, поскольку это единственная охраняемая территория из перечисленных выше, на которой допускается и организуется туризм. Статья 12 из третьего раздела федерального закона от 14.03.95 N 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» определяет национальный парк как «особо охраняемую территорию федерального значения, в границах которой выделяются зоны, в которых природная среда сохраняется в естественном состоянии и запрещается осуществление любой не предусмотренной настоящим Федеральным законом деятельности, и зоны, в которых ограничивается экономическая и иная деятельность в целях сохранения объектов природного и культурного наследия и их использования в рекреационных целях».

Деятельность национальных парков важна. От того, насколько она эффективна, зависит, останутся ли в своём первозданном виде лучшие образцы природного и культурного наследия для демонстрации их настоящему и будущим поколениям людей. Для этого национальный парк должен получать значительное финансирование и эффективно расходовать средства на решение первоочередных задач. Дирекция национального парка должна грамотно распределять финансы на нужды парка и на персонал.

В данной работе предлагается математическая модель оптимального управления деятельностью национального парка. В процессе исследования модели программно реализуется алгоритм нахождения равновесия Штакельберга [1, 2], при котором национальный парк может продолжать устойчиво функционировать.

Математическая постановка задачи

В процессе создания работы была формализована двухуровневая иерархическая модель [3] оптимального управления деятельностью национального парка, включающая субъекты управления верхнего и нижнего уровня [4].

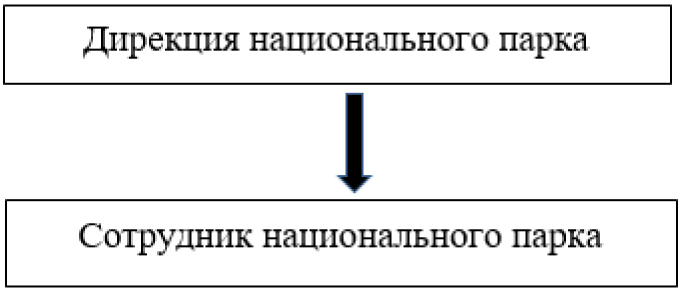

Рис. 1. – Схема двухуровневой иерархической модели оптимального управления деятельностью национального парка

В качестве субъекта управления верхнего уровня (ведущего) выступает дирекция национального парка, а в качестве субъекта управления нижнего уровня (ведомого) – сотрудник(и) национального парка. Каждый из участников системы стремится к максимизации своего дохода. Для отслеживания статьи доходов и расходов участников системы используются следующие целевые функции [5]:

$$\mathrm{J}_{\text{д}} = \mathrm{C} + \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}} k_1 \cdot F_i^{\alpha} \cdot TC_i^{\beta} - \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}} F_i \cdot TC_i - \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}} \varphi \cdot F_i \cdot TC_i \frac{\mathrm{RP}}{100} \cdot \frac{F_i}{H_i} \xrightarrow[TC]{} \max \qquad (1)$$

где C = const – доходы и расходы национального парка от различных видов деятельности, k_1 – коэффициент технологичности парка; α и β – коэффициенты, характеризующие качество предоставляемых парком услуг; F_i – фактически отработанные работником часы за месяц; TC – величина тарифной ставки за работу в час; N – количество сотрудников парка; φ – коэффициент переработки; RP – величина поощрения сотрудника в виде установленного процента от оклада; H_i – норма работы сотрудника в месяц по ТК (176 часов); i – номер работника парка.

$$\mathrm{J}_{\mathrm{w_j}} = \mu \cdot F_j \cdot TC_j + \varphi_j \cdot \mu \cdot F_j \cdot TC_j \cdot \frac{\mathrm{RP}}{100} \cdot \frac{F_j}{H} - k_2 \cdot F_j^{\gamma} \cdot TC_j^{\tau} \xrightarrow[F]{} \max \qquad (2)$$

где j – номер работника парка; F_j – фактически отработанные работником часы за месяц; ТС – величина тарифной ставки за работу в час; μ – коэффициент чистой прибыли работника; φ – коэффициент переработки; RP – величина поощрения сотрудника в виде установленного процента от оклада; H – норма работы сотрудника в месяц по ТК (176 часов); k_2 – коэффициент предрасположенности сотрудника к растратам; γ и τ – коэффициенты трудоспособности конкретного сотрудника.

Следует отметить, что на параметры управления [6, 7] дирекции и работника накладываются ограничения. Ограничения на управление [8] выглядят следующим образом:

$$F_{\min} \le F \le F_{\max} \qquad (3)$$

$$TC_{\min} \le TC \le TC_{\max} \qquad (4)$$

Где $F_{\min}$, $F_{\max}$ – минимально и максимально возможное количество часов работы сотрудника национального парка; $TC_{\min}$, $TC_{\max}$ – минимальная и максимальная тарифная ставка.

В совокупности (1), (2), (3), (4) представляют собой двухуровневую иерархическую модель с ограничениями на параметры управления.

Предлагаемый метод исследования модели

Предложенная модель имеет иерархическую структуру, её аналитическое решение имеет ограниченное применение. Исследование может быть проведено численно методом имитационного моделирования на основе простого перебора [9]. Реализация метода осуществлена на языке Python. Предлагаемый алгоритм состоит в следующем [10]:

1. Область допустимых управлений ведущего разбивается на *n* равных частей и фиксируется его управление TC_i. Для каждого TC_i область определения управлений ведомого разбивается на m частей и фиксируется F_j.
2. Среди полученных управлений находится максимум целевой функции ведомого (2) и запоминается его управление TC_i^*.
3. Из пар точек (TC_i^*, F_j) выбирается та, при которой значение целевой функции ведущего (1) принимает наибольшее значение. Полученная точка (TC_i^*, F_j^*) и будет являться искомым равновесием системы (равновесием Штакельберга).

В качестве $\mathrm{F}_{\mathrm{min}}$ и $F_{\max}$ в (3) взяты константы, поэтому (3) можно переписать как $176 \le F \le 186$ согласно ТК РФ. Ограничение (4) может быть представлено в следующем виде: $100 \le TC \le 150$. Здесь F имеряется в часах, а TC – в у.е.

Результаты расчётов

Пример 1. Зафиксируем C = 169914, N = 1, k_1 = 1, α = 0.215, β = 0.178, φ=1, Rp = 39, H = 176, μ = 0.87, k_2 = 1, γ = 0.20073, τ = 0.18565. Тогда в результате работы алгоритма, описанного выше, получим F = 186, TC = 150, $\mathrm{J}_{\text{д}}$ = 38618.111767401875 , $\mathrm{J}_{\mathrm{w}_\mathrm{j}}$ = 36004.18593159439.

Пример 2. В случае входных данных примера 1 и при α = 1 получаем, что F = 186, TC = 150, $\mathrm{J}_{\text{д}}$ = 40694.17885770644, $\mathrm{J}_{\mathrm{w}_\mathrm{j}}$ = 36004.18593159439. Таким образом, доход дирекции парка увеличивается при увеличении коэффициента качества предоставляемых парком услуг, а доход работника остаётся неизменным относительно примера 1. При увеличении этого коэффициента слагаемое целевой функции дирекции (1) $\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} \mathrm{k}_1 * \mathrm{F}_\mathrm{i}^\alpha * TC_\mathrm{i}^\beta$ также увеличивается. Данная сумма отвечает за привлечение частных инвестиций от различных организаций. Чем больше коэффициент α, тем больше частных инвестиций получает парк в качестве основного дохода.

Заключение

В рамках данной работы была построена и исследована математическая модель оптимального управления деятельностью национального парка. Исследование было проведено с помощью имитационного моделирования на основе метода простого перебора. Создана программная реализация алгоритма для построения равновесия Штакельберга и нахождения оптимального решения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-31-90041

Литература

1. Угольницкий Г.А. Методология и прикладные задачи управления устойчивым развитием активных систем // Проблемы управления. 2019. №2. С. 19-29.
2. Кораблина Э.В., Усов А.Б. Равновесие Штакельберга в модели согласования частных и общественных интересах // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5516/.
3. Кравцов М.С., Усов А.Б. Борьба с оппортунистическим поведением субъектов в системах контроля качества речных вод // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5439/.
4. Белов М.В. Согласованное управление многоэлементными динамическими организационными системами. Ч. 1. Динамическая

организационная система в составе одного центра и множества агентов // Проблемы управления. 2020. №1. С. 39-47.

5. Кувшинов Д.И., Осипов С.И. Численное построение решений Штакельберга в линейной позиционной дифференциальной игре на основе метода многогранников // Автоматика и телемеханика. 2018. № 3. С. 111-126.
6. Горбанева О.И. Игровые модели распределения ресурсов в иерархических системах управления качеством речной воды // Математическая теория игр и её приложения. 2010. Т.2. №1. С. 27-46.
7. Мельников С.В. Равновесие Штакельберга–Нэша в модели линейного города // Математическая теория игр и её приложения. 2018. Т.10. №2. С. 27-39.
8. Суржиков В.И., Шевченко В.К. Подход к развитию экологического туризма на особо охраняемых территориях на основе системного анализа // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2019. Т.11. №3. С. 50-62.
9. Wickstrom M.H., Carr R., Lackey D. Exploring Yellowstone National Park with Mathematical Modeling. Mathematics Teaching in the Middle School. 2017. №8. pp. 462-470.
10. Bauduin S., Grente O., Santostasi N.L. etc. An individual-based model to explore the impacts of lesser-known social dynamics on wolf populations. Ecological Modelling, 2020. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380020302799/.

References

1. Ugol'nitskiy G.A. Problemy upravleniya. 2019. №2. pp. 19-29.

2. Korablina E.V., Usov A.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5516/.
3. Kravtsov M.S., Usov A.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5439/.
4. Belov M.V. Problemy upravleniya. 2020. №1. pp. 39-47.
5. Kuvshinov D.I., Osipov S.I. Avtomatika i telemekhanika. 2018. № 3. pp. 111-126.
6. Gorbaneva O.I. Matematicheskaya teoriya igr i yeyё prilozheniya. 2010. Vol. 2. №1. pp. 27-46.
7. Mel'nikov S.V. Matematicheskaya teoriya igr i yeyё prilozheniya. 2018. Vol. 10. №2. pp. 27-39.
8. Surzhikov V.I., Shevchenko V.K. Territoriya novykh vozmozhnostey. Vestnik Vladivostokskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i servisa. 2019. Vol. 11. №3. pp. 50-62.
9. Wickstrom M.H., Carr R., Lackey D. Exploring Yellowstone National Park with Mathematical Modeling. Mathematics Teaching in the Middle School. 2017. №8. pp. 462-470.
10. Bauduin S., Grente O., Santostasi N.L. etc. An individual-based model to explore the impacts of lesser-known social dynamics on wolf populations. Ecological Modelling, 2020. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380020302799/.