

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРЕХУРОВНЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Ерешко Ант. Ф., Байрамов О. Б. о.

Федеральный Исследовательский Центр «Информатика и Управление» РАН,
Москва, Россия

asprs@yandex.ru, orudzh_bayramov@mail.ru

Аннотация. Рассматривается структура и система управления АПК России, сетевая модель предприятий АПК, возможность применения искусственного интеллекта в различных отраслях сельского хозяйства. Обсуждается модель оценки продуктивности продукции сельского хозяйства.

Ключевые слова: сетевая модель АПК, Центр, принцип оптимальности, налоговая политика, растениеводство, животноводство, искусственный интеллект, модель оценки, продуктивность.

Введение

Сельское хозяйство сегодня является одним из перспективных направлений развития технологий искусственного интеллекта (ИИ). Внедрение этих технологий одинаково успешно применяется в животноводстве и в растениеводстве. Преимущественно они связаны с деятельностью агрофирм и предназначены для удобной и плодотворной работы персонала, а также способствуют улучшению показателей продукции соответствующих отраслей сельского хозяйства. Но существуют и другие направления внедрения ИИ в сельское хозяйство и о них пойдет речь ниже.

Значительное влияние на современные разработки оказывает масштабное направление цифровизации экономики в целом, позволяющее надеяться на широкое использование цифровых данных и алгоритмов. В настоящее время основной тренд в экономическом развитии определяется оцифровкой технологий и систем управления.

Для агропромышленного комплекса характерно наличие биологических процессов, как составных компонентов технологий. Вследствие такой особенности процессов при управлении системами в агропромышленном комплексе необходимо учитывать неконтролируемые факторы, которые являются следствием природных воздействий на биологические системы. Наряду с этим необходимо также учитывать неопределённости экономического характера.

Указанные обстоятельства предопределяют использование имитационных подходов.

1. Акторы, структура и система управления АПК России

При рассмотрении вопросов управления прежде всего необходимо определить Систему действующих экономических агентов (акторов).[1,2]. Важнейшим ресурсом сельского хозяйства является земля. Мы остановимся на учёте фермерских хозяйств, взаимодействующих с агрохолдингами, которые появились в результате развития земельного рынка в начале 2000-х годов и владеют сотнями тысяч гектар земли. 30 крупнейших агрохолдингов владеют 7,5 млн. га или примерно 10% посевных площадей страны.

Существует широкий арсенал средств регулирования агропродовольственных рынков. Государство может осуществлять поддержку сельского хозяйства, используя бюджетные средства, то есть за счет налогоплательщиков, или, регулируя финансовые потоки на рынках в пользу сельскохозяйственных товаропроизводителей и, следовательно, за счет потребителей.

1.1. Сетевая модель

Рассмотрим вопрос о деятельности части акторов, входящих в сферу АПК и приведём совокупное описание моделей предприятий (Цифровых двойников), входящих в Цифровую платформу при веерном технологическом графе. Прежде всего отметим, что модель отражает Иерархическую структуру управления [3–5, 6]. Далее рассматривается один из вариантов описания на основе отечественной теории иерархических игр [7–9, 3, 4, 10, 6].

Рассматриваем организационную систему из трёх уровней:

Центр-интегрированные структуры (холдинги)-предприятия.

Субъекты. Оперирующую сторону в данной модели будем отождествлять с координирующим Центром. Далее, имеется некоторое число предприятий, разбитых на K интегрированных структур. Предприятия будем нумеровать двойными индексами kn , где k ($k = 1, \dots, K$) – номер интегрированной

структуры, n – номер предприятия ($n=0,1,\dots,N$). Каждую интегрированную структуру будем отождествлять с ее головным предприятием, за которым зарезервируем индекс $n=0$.

Технологические процессы. Будем рассматривать функционирование системы на отрезке времени $t=1,2,\dots,T$. Пусть система способна выпускать I видов продукции. Обозначим $U = \mathbb{R}_+^I$.

Программы. Центр в качестве оценки желаемой программы выбирает объемы и сроки выпусков, т.е. для каждой интегрированной структуры k в модели имеется набор (u_1^k, \dots, u_T^k) векторов $u_t^k \in U, t=1,2,\dots,T$. Цены продукции рассматриваются как параметр модели, т.е. в каждый момент времени t задан вектор параметров $p_t \in U$. Таким образом, например, структура k в момент времени t получает за выполнение выпуска сумму, равную $p_t u_t^k$.

Производственные мощности. Состояние производственных мощностей предприятия kn в момент времени t описывается вектором x_t^{kn} с неотрицательными компонентами. Множество всех таких векторов обозначим через X . В момент времени t предприятие kn выбирает вектор z_t^{kn} вновь создаваемых мощностей. Таким образом, динамика производственных мощностей задается формулой

$$x_{t+1}^{kn} = x_t^{kn} + z_t^{kn}, t=1,\dots,T, k=1,\dots,K, n=0,1,\dots,N.$$

За создание новых мощностей предприятие платит сумму $P_t z_t^{kn}$.

Выпуск продукции, затраты. В момент времени t предприятие kn выбирает объем выпуска продукции $v_t^{kn} \in U$.

Разумеется, производство продукции связано с затратами. Будем считать, что эта связь описывается функцией

$$\Phi = (\varphi, \phi): X \times U \rightarrow U \times W.$$

Здесь $\varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) \in U$ – затраты продукции, производимой внутри АПК, на производство продукции в количестве v_t^{kn} при наличии мощностей x_t^{kn} , $\phi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) \in W$ – затраты на приобретение продукции, закупаемой извне АПК. Предположим, что предприятия, входящие в одну интегрированную структуру, могут обмениваться произведенной продукцией.

Обмены. Объем $\omega_t^{knm} \in U$ продукции, поставляемой предприятием n предприятию m в момент времени t определяется головным предприятием интегрированной структуры.

Управления головного предприятиям интегрированной структуры k должны удовлетворять ограничениям

$$v_t^{k0} + \sum_{n=1}^N \omega_t^{kn0} - \sum_{n=1}^N \omega_t^{k0n} - \varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) \geq u_t^k, t=1,\dots,T.$$

Обозначим через $U_t^{k0}(x_t^{k0}, u_t^k)$ множество **наборов (управлений)**

$$(z_t^{k0}, v_t^{k0}, \omega_t^{k00}, \dots, \omega_t^{k0N}, \omega_t^{k10}, \dots, \omega_t^{kNN}) \in X \times U^{N^2+1},$$

удовлетворяющих ограничению

$$v_t^{k0} + \sum_{n=1}^N \omega_t^{kn0} - \sum_{n=1}^N \omega_t^{k0n} \geq u_t^k,$$

(здесь для простоты записи принято $\omega_t^{knm=0}, n=0,1,\dots,N$).

Управления предприятия n ($n \neq 0$), входящего в интегрированную структуру k должны удовлетворять ограничениям

$$v_t^{kn} - \varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) \geq \sum_{m=1}^N \omega_t^{knm} - \sum_{m=1}^N \omega_t^{kmm}.$$

Обозначим через $U_t^{kn}(x_t^{kn}, \omega_t^{kn0}, \dots, \omega_t^{knN}, \omega_t^{k0n}, \dots, \omega_t^{kNN})$ множество пар $(z_t^{kn}, v_t^{kn}) \in X \times U$, удовлетворяющих условию

$$v_t^{kn} - \varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) \geq \sum_{m=1}^N \omega_t^{knm} - \sum_{m=1}^N \omega_t^{kmm}.$$

Интересы. Будем считать, что целью предприятий является **максимизация прибыли**.

Обозначим для краткости $\bar{z}^{-kn} = (z_1^{kn}, \dots, z_T^{kn})$, $\bar{v}^{-kn} = (v_1^{-kn}, \dots, v_T^{-kn})$, $\bar{p} = (p_1, \dots, p_T)$. Для $n \neq 0$ прибыль предприятия kn задается формулой

$$g^{kn}(\bar{p}, \bar{z}^{-kn}, \bar{v}^{-kn}) = \sum_{t=1}^T p_t v_t^{kn} - \sum_{t=1}^T P_t z_t^{kn} - \sum_{t=1}^T p_t \varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) - \sum_{t=1}^T \pi_t \phi(x_t^{kn}, v_t^{kn}).$$

Здесь π_t – вектор цен на товары, закупаемые вне АПК. Это – параметр модели.

Считаем, что **головное предприятие** интегрированной системы является акционером остальных предприятий этой системы. Поэтому его **прибыль выражается формулой**

$$\begin{aligned} g^{k0}(\bar{p}, \bar{z}^{-k0}, \bar{z}^{-k1}, \dots, \bar{z}^{-kN}, \bar{v}^{-k0}, \bar{v}^{-k1}, \dots, \bar{v}^{-kN}) = \\ = \sum_{t=1}^T p_t v_t^{k0} - \sum_{t=1}^T P_t z_t^{k0} - \sum_{t=1}^T p_t \varphi(x_t^{k0}, v_t^{k0}) - \sum_{t=1}^T \pi_t \phi(x_t^{k0}, v_t^{k0}) + \\ + \sum_{n=1}^N \alpha^{kn} g^{kn}(\bar{z}^{-kn}, \bar{v}^{-kn}). \end{aligned}$$

В этой формуле α^{kn} – доля головного предприятия в капитале предприятия k_n .

В модели – это параметры.

Центру приписывается функция выигрыша

$$\begin{aligned} g(\bar{p}, \bar{z}^{-10}, \bar{z}^{-11}, \dots, \bar{z}^{-1N}, \bar{v}^{-10}, \bar{v}^{-11}, \dots, \bar{v}^{-1N}, \dots, \bar{v}^{-KN}) = \\ = \min_{1 \leq k \leq K} \min \left[g^{k0}(\bar{z}^{-k0}, \bar{z}^{-k1}, \dots, \bar{z}^{-kN}, \bar{v}^{-k0}, \bar{v}^{-k1}, \dots, \bar{v}^{-kN}), \min_{1 \leq n \leq N} g^{kn}(\bar{z}^{-kn}, \bar{v}^{-kn}) \right]. \end{aligned}$$

Информированность и порядок ходов.

Считаем, что первым принимает решение Центр, он формирует программу-прогноз $\bar{u}^{-k} = (u_1^k, \dots, u_T^k)$, $k = 1, \dots, K$, задаются параметры – цены $\bar{p} = (p_1, \dots, p_T)$ и предприятия информируются о прогнозе.

Затем одновременно и независимо делают выбор головные предприятия. Обозначим через $\bar{U}^{k0}(\bar{u}^{-k})$ множество всех наборов $u_t^{k0} = (z_t^{k0}, v_t^{k0}, \omega_t^{k00}, \dots, \omega_t^{k0N}, \omega_t^{k10}, \dots, \omega_t^{kNN})$, $t = 1, \dots, T$, удовлетворяющих условиям

$$u_t^{k0} \in U_t^{k0}(x_t^{k0}, u_t^k), x_{t+1}^{k0} = x_t^{k0} + z_t^{k0}, t = 1, \dots, T.$$

Головное предприятие выбирает программу $\bar{u}^{-k0} \in \bar{U}^{k0}(\bar{u}^{-k})$ и сообщает о своем выборе предприятиям своей интегрированной структуры.

После этого одновременно и независимо производят свой выбор остальные предприятия. Предприятие k_n выбирает свою программу v из множества $\bar{U}^{kn}(\bar{u}^{-k0})$ программ, удовлетворяющих условиям

$$u_t^{kn} \in U_t^{kn}(x_t^{kn}, \omega_t^{kn0}, \dots, \omega_t^{knN}, \omega_t^{k0n}, \dots, \omega_t^{kNn}), x_{t+1}^{kn} = x_t^{kn} + z_t^{kn}, t = 1, \dots, T.$$

Принцип оптимальности.

При описанной выше схеме принятия решений, предприятие k_n ($n > 0$), выбирая управления, находится в ситуации, когда его выигрыш зависит только от его решения. Поэтому естественно считать, что оно выберет программу \bar{u}^{-kn} из множества

$$BR^{kn}(\bar{u}^{-k0}) = \left\{ \bar{u}^{-kn} \in \bar{U}^{kn}(\bar{u}^{-k0}) : g^{kn}(\bar{p}, \bar{u}^{-kn}) = \max_{\bar{w}^{-kn} \in \bar{U}^{kn}(\bar{u}^{-k0})} g^{kn}(\bar{p}, \bar{w}^{-kn}) \right\}.$$

Головное предприятие k_0 может оценить это множество. Поэтому для него естественно выбрать свою программу \bar{u}^{-k0} из множества

$$BR^{k0}(\bar{u}^{-k}) = \left\{ \bar{u}^{-k0} \in \bar{U}^{-k0}(\bar{u}^{-k}) : \min_{\bar{u}^{-k1} \in \bar{U}^{-k1}(\bar{u}^{-k0})} \dots \min_{\bar{u}^{-kN} \in \bar{U}^{-kN}(\bar{u}^{-k0})} g^{k0}(\bar{p}, \bar{u}^{-k0}, \bar{u}^{-k1}, \dots, \bar{u}^{-kN}) = \right. \\ \left. = \max_{\bar{w}^{-k0} \in \bar{U}^{-k0}(\bar{u}^{-k})} \min_{\bar{u}^{-k1} \in \bar{U}^{-k1}(\bar{w}^{-k0})} \dots \min_{\bar{u}^{-kN} \in \bar{U}^{-kN}(\bar{w}^{-k0})} g^{k0}(\bar{p}, \bar{w}^{-k0}, \bar{u}^{-k1}, \dots, \bar{u}^{-kN}) \right\}$$

(можно показать, что если все параметры α^{kn} строго положительны, то при обычных предположениях о множествах выборов максимум в этой формуле достигается).

$$\text{Обозначим } BR^k(\bar{u}^{-k}) = BR^{k0}(\bar{u}^{-k}) \times \prod_{n=1}^N BR^{kn}(\bar{u}^{-k0}).$$

Пусть Центр фиксировал программы $\bar{u}^{-k} = (u_1^k, \dots, u_T^k), k=1, \dots, K$, и $\bar{p} = (p_1, \dots, p_T)$. Тогда он может рассчитывать, что при рациональном поведении партнеров он получит выигрыш не меньший

$$\min_{(\bar{u}^{-10}, \bar{u}^{-11}, \dots, \bar{u}^{-1N}) \in BR^1(\bar{u}^{-1})} \dots \min_{(\bar{u}^{-K0}, \bar{u}^{-K1}, \dots, \bar{u}^{-KN}) \in BR^K(\bar{u}^{-K})} g(\bar{p}, \bar{u}^{-10}, \bar{u}^{-11}, \dots, \bar{u}^{-1N}, \bar{u}^{-K0}, \bar{u}^{-K1}, \dots, \bar{u}^{-KN}).$$

Вывод. Поэтому, если величина

$$\sup_{\bar{p} \in U^T} \min_{(\bar{u}^{-10}, \bar{u}^{-11}, \dots, \bar{u}^{-1N}) \in BR^1(\bar{u}^{-1})} \dots \min_{(\bar{u}^{-K0}, \bar{u}^{-K1}, \dots, \bar{u}^{-KN}) \in BR^K(\bar{u}^{-K})} g(\bar{p}, \bar{u}^{-10}, \bar{u}^{-11}, \dots, \bar{u}^{-1N}, \bar{u}^{-K0}, \bar{u}^{-K1}, \dots, \bar{u}^{-KN})$$

положительна, или она неотрицательна, и верхняя грань в последней формуле достигается, то выпуск $(\bar{u}^{-1}, \dots, \bar{u}^{-K})$ реализуем.

В результате на основе данного описания построена Сетевая Модель, которая учитывает технологические и организационные связи всех предприятий АПК. Сформулированная Сетевая Модель имеет вид теоретико-игровой модели с иерархической структурой, с приоритетом действий Центра и учётом связей между агентами технологического графа АПК.

1.2. Замечание о смешанных механизмах в АПК

Преыдушее описание рассматривалось как программное прогнозирование Центра, где учитывалась иерархия принятия решений и критерии эффективности отражали устремления активных экономических агентов. Поэтому описание можно рассматривать как первое приближение к анализу сетевых моделей. Вопросы ценообразования разрешались назначением параметров модели, и следующий шаг в исследовании непременно должен учитывать механизм формирования рыночных цен.

Таким же вопросом к будущему рассмотрению является децентрализованное управление Центра, когда применяется «мягкое», не директивное, индикативное регулирование течения экономической деятельности.

Приведём пример рассмотрения **налоговой политики Центра**. Рассмотрим случай, когда предприятия выплачивают налог с прибыли в размере $\beta(b_t^{kn})$. Вид функции β выбирает Центр.

Таким образом, цель предприятия состоит в максимизации прибыли после налогообложения, которая при $n \neq 0$ задается формулой

$$g^{kn}(\beta, \bar{p}, \bar{z}^{-kn}, \bar{v}^{-kn}) = \sum_{t=1}^T p_t \sum_{m=1}^N \omega_t^{k0m} + \sum_{t=1}^T \Pi_t \left(v_t^{kn} - \sum_{m=1}^N \omega_t^{k0m} \right) - \\ - \sum_{t=1}^T P_t z_t^{kn} - \sum_{t=1}^T p_t \varphi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) - \sum_{t=1}^T \pi_t \phi(x_t^{kn}, v_t^{kn}) - \sum_{t=1}^T \tau(t) \beta(b_t^{kn}).$$

Считаем, что головное предприятие интегрированной системы является акционером остальных предприятий этой системы. Поэтому его прибыль до налогообложения выражается формулой

$$\sum_{t=1}^T p_t \sum_{m=1}^N \omega_t^{k0m} + \sum_{t=1}^T \Pi_t \left(v_t^{k0} - \sum_{m=1}^N \omega_t^{k0m} \right) - \\ - \sum_{t=1}^T P_t z_t^{k0} - \sum_{t=1}^T p_t \varphi(x_t^{k0}, v_t^{k0}) - \sum_{t=1}^T \pi_t \phi(x_t^{k0}, v_t^{k0}) + \sum_{n=1}^N \alpha^{kn} g^{kn}(\bar{z}^{-kn}, \bar{v}^{-kn}).$$

В этой формуле α^{kn} – доля головного предприятия в капитале предприятия kn . В модели это – параметры.

Для простоты будем считать, что дивиденды выплачиваются в те же моменты времени, когда платятся налоги. Тогда конструкции, аналогичные предыдущим будут выглядеть следующим образом.

$$b_0^{k0} = 0,$$

$$b_t^{k0} = (1 - \tau(t-1))b_{t-1}^{k0} + p_t \sum_{m=1}^N \omega_t^{k0m} + \Pi_t \left(v_t^{k0} - \sum_{m=1}^N \omega_t^{k0m} \right) - P_t z_t^{k0} -$$

$$- p_t \varphi(x_t^{k0}, v_t^{k0}) - \pi_t \phi(x_t^{k0}, v_t^{k0}) + \sum_{n=1}^N \tau(t) \alpha^{kn} b_t^{kn},$$

$$t = 1, \dots, T, k = 1, \dots, k.$$

Прибыль после налогообложения составит

$$g^{k0}(\beta, \bar{p}, \bar{z}, \bar{z}^{-k1}, \dots, \bar{z}^{-kN}, \bar{v}, \bar{v}^{-k1}, \dots, \bar{v}^{-kN}) = \sum_{t=1}^T p_t \sum_{m=1}^N \omega_t^{k0m} + \sum_{t=1}^T \Pi_t \left(v_t^{k0} - \sum_{m=1}^N \omega_t^{k0m} \right) -$$

$$- \sum_{t=1}^T P_t z_t^{k0} - \sum_{t=1}^T p_t \varphi(x_t^{k0}, v_t^{k0}) - \sum_{t=1}^T \pi_t \phi(x_t^{k0}, v_t^{k0}) + \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \tau(t) \alpha^{kn} b_t^{kn} - \sum_{t=1}^T \tau(t) b_t^{k0}.$$

Как показано в работах [4, 11], расчёт директивных и рыночных механизмов для данной модели соответствует вычислительным технологиям, принятым в глубоком обучении Искусственных нейронных сетей, где роль искусственных нейронов играют холдинги и предприятия.

Стратегии отдельных предприятий, рассчитываемые на основе решения максиминных задач, определяют функции активации, что является в данном случае предметом глубокого обучения сети предприятий.

В качестве приложения о применении технологий ИИ остановимся на известной модели оценки предельной продукции сельского хозяйства, разработанной в ВЦ АН СССР (ВЦ ФИЦ ИУ РАН) в 1980-е годы.

2. Искусственный интеллект и математические модели

Другим направлением применения ИИ считаем его использование в повышении эффективности разработанных различных моделей функционирования отраслей сельского хозяйства, конкретно – растениеводства и животноводства. Ниже приводится краткое описание разработанной для Московской области системы моделей (подробно см., напр. [12]). Она позволяет реализовать некоторую декомпозиционную схему решения сформулированной проблемы. Система состоит из четырех информационно взаимосвязанных моделей. Обозначим их через A, B, C, D . Первые три модели – статические, модель D – динамическая. Все модели взаимодействуют с A , между собой взаимодействуют также C и D .

Модель А – общая модель размещения сельхозпроизводства по районам Московской области и состоит из двух блоков – растениеводческого и блока производства животноводческой продукции. Первый блок описан более подробно (с учетом различных агроклиматических зон в районах, возможных севооборотов, с учетом внесения органических и минеральных удобрений, с учетом возможности проведения мелиоративных мероприятий), животноводство – менее подробно. Представлена наиболее развитая в области отрасль – содержание крупного рогатого скота (КРС). Другие отрасли могут быть учтены путем изъятия части кормов, рассчитанной по нормативам, необходимым для производства остальных видов животноводческой продукции. Рассматриваемое стадо КРС состоит из трех частей – основное (молоко производящее), ремонтное и откормочное. Также рассматривается четыре вида корма – концентраты, грубые, сочные, зеленые корма.

Результат решения задачи A – количество производимого по районам мяса, молока и количество кормов различного вида, производимого в этих районах. Последние являются входной информацией для задачи B .

Модель В – в этой модели для каждого района или для всей области в целом при заданных кормах решается задача о выборе рациональной техники кормления трех основных групп стада КРС. Основной корректирующей информацией, передающейся задаче A , является информация о рациональной технологии кормления молочного стада и технологии откорма молодняка. С этими новыми данными повторяется решение задачи A . Этот итерационный процесс повторяется до тех пор, пока различия между решениями задач A и B станут незначительными. После этого решается задача C .

Модель С – с помощью этой модели решается, по существу, та же задача, что и B , однако описание всех процессов в отрасли максимально подробное, основанное на известной нормативной базе.

Возможно разбиение стада КРС на произвольное число половозрастных групп. Как и задача *B*, задача *C* служит для корректировки решения задачи *A*.

Модель D. Все описанные расчеты проводятся для стационарного случая, то есть в предположении, что урожайности кормовых культур не меняются от года к году и равны средним значениям. Задача *D* решает детерминированную проблему оптимального управления процессом производства животноводческой продукции на конечном интервале времени продолжительностью в несколько лет при известных временных рядах, характеризующих кормовую базу. В результате решения этой задачи получаются временные ряды производства животноводческой продукции, по которым можно вычислить все необходимые характеристики (среднее значение, разброс и т.д.). При необходимости полученную информацию можно использовать для корректировки решения задачи *A*.

3. Заключение

Таким образом, предполагается, что при оценке необходимой совокупности инструментальных средств поддержки принятия решений, в системе АПК будут функционировать

- «цифровые двойники» предприятий и агрохолдингов, отраслей АПК, АПК в целом;
- макроэкономические модели рыночных и государственных механизмов, оценки конъюнктуры рынков сельхозпродукции, сырья и материалов, энергии, оборудования, прав пользования природными ресурсами, труда, потребляемых и производимых АПК услуг;
- взаимоувязанная система математических моделей природных процессов, связанных с работой АПК, по всем регионам России;
- программные комплексы моделирования производственно-технологических процессов, подготовки исходных данных для
 - моделирования, оценки производственных функций в зависимости от разворачивания процессов природного характера;
 - единое интернет-пространство знаний в АПК РФ, позволяющее системно и гибко организовать обмен необходимой информацией между различными составляющими взаимоувязанной системы поддержки принятия решений на всех уровнях управления АПК.

Под «цифровым двойником» при этом следует понимать целостную и взаимоувязанную игровую имитационную модель производственно-экономической деятельности микро- или малого агропредприятия, агрохолдинга, отрасли АПК, АПК в целом, игроками (агентами) в которой является как сама оперирующая сторона (предприятие, холдинг, ...), так и все её контрагенты: государство (ФОИВ, РОИВ, МОИВ, соответственно, федеральные, региональные, муниципальные органы исполнительной власти), домашние хозяйства, продавцы и поставщики, покупатели и заказчики, кредиторы и инвесторы, здравоохранение и образование, наука.

Литература

1. *Огнивцев С.Б.* Концепция цифровой платформы агропромышленного комплекса. // Международный сельскохозяйственный журнал, 2019. – № 2 (368). – С. 16–22.
2. *Огнивцев С.Б.* Цифровизация экономики и экономика цифровизации АПК. // Международный сельскохозяйственный журнал, 2019. – № 2 (368). – С. 77–80.
3. *Горелов М.А., Ерешко Ф.И.* Иерархические игры с ограничениями на объём передаваемой информации // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2021. Труды четырнадцатой межд. конф. М.: ИПУ РАН, 2021 (27–29 сентября 2021 года, Москва, Россия). – С. 445–451.
4. *Ерешко Ф.И., Горелов М.А.* Управление центра в сетевой модели цифровых двойников группы предприятий // Тенденции развития интернет и цифровой экономики /Труды IV Всероссийской с межд. участием научно-практической конференции. Пленарный доклад. Симферополь-Алушта, 3–5 июня 2021 год. – Симферополь: Издательский дом КФУ, 2021. – С. 34–37. ISBN 78-5-6046332-4-3.
5. *Ерешко Ф.И., Шевченко В.В.* Опыт использования теории игр при поддержке принятия решений в ОПК России // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем: сборник науч. трудов XIV Всерос. с межд. участием школы-симпозиума АМУР-2020, Симферополь-Судак, 14–27 сентября 2020 / ред. совет: *А. В. Сигал* (предс.) и др. – Симферополь, 2020. – 436 с. ISBN: 978-5-6043882-3-5. – С. 149–154. [Электронный ресурс] URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44063482&pf=1> (дата обращения: 25.09.2023).
6. *Ereshko F., Gorelov M., Budzko V.* An Intelligent Approach to Decentralized Control in the Agro-industrial Complex. ICID 2021. Communications in Computer and Information Science. – Vol. 1539. – P. 254–264. – Springer Nature Switzerland AG, 2022.
7. *Мусеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981.– 488 с.
8. *Гермейер Ю.Б.* Игры с противоположными интересами. – М.: Наука, 1976. – 328 с.

9. *Ватель И.А., Ерешко Ф.И.* Игры с иерархической структурой: в 2-х т. // Математическая энциклопедия. – Москва: Советская Энциклопедия, 1979. – Т. 2 – С. 478–482.
10. *Шевченко В.В.* Операционное игровое сценарное моделирование экономических процессов // Журнал “Цифровая экономика”, 2021. – № 15(3). – С. 52–62. DOI: 10.34706/DE-2021-01-03
11. *Ерешко Ф.И. Горелов М.А.* Игровое представление искусственных нейронных сетей // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем: сб. науч. трудов XVI Межд. школы-симпозиума АМУР-2022, Симферополь-Судак, 14–27 сентября 2022 / ред. совет: А.В. Сигал (предс.) и др. – Симферополь, 2022. – 408 с. ISBN 978-5-6043882-9-7. – С. 146–149. [Электронный ресурс] URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49531513> (дата обращения: 25.09.2023).
12. *Киселев В.Г., Пыхов С.В.* Динамическая модель производства животноводческой продукции. – М.: ВЦ АН СССР, 1987. – 22 с.