

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА С УЧЕТОМ ПРОЯВЛЕНИЯ ВЫСОКИХ ПАВОДКОВ И ПОЛОВОДИЙ

Н. В. Бендик, Я. М. Иваньо, С. А. Петрова

Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского

Поступила в редакцию 20.03.2016 г.

Аннотация. В статье предложены модели планирования сельскохозяйственного производства в условиях проявления высоких весенних половодий и дождевых паводков. Рассмотрены задачи математического программирования, отражающие воздействие на производство редкого гидрологического события и совмещения событий. Для решения сформулированных задач разработаны алгоритмы на основе моделирования редкого природного события в пределах периода, учитывающего историко-архивные данные, и определения вероятности проявления события по условию превышения моделируемого значения над заданным фактическим уровнем.

Ключевые слова: оптимизация, аграрное производство, дождевой паводок, весеннее половодье, природные риски.

Annotation. In article models of planning of agricultural production in the conditions of manifestation of the high spring floods and the rain floods are proposed. The problems of mathematical programming reflecting an action on production of a rare hydrological event and combination of events are considered. The algorithms based on modeling of rare natural events within the period, taking into account the historical and archival data, and determine the probability of the event on the condition of exceeding the modeled values over a given actual level are developed for the solution of the formulated problems.

Keywords: optimization, agricultural production, rainfall flood, spring flood, natural risks.

ВВЕДЕНИЕ

Производство продукции на предприятиях агропромышленного комплекса осуществляется в условиях ежегодного влияния природных событий как значений параметров, превышающих (непревышающих) некоторые критические уровни [5, 7, 10 и др.]. При этом сельское хозяйство связано с природопользованием в пределах бассейнов рек. По официальным данным потери предприятий агропромышленного комплекса Иркутской области за 2001–2015 гг. от экстремальных явлений за указанный период составили около 2,5 млрд. рублей. Свыше половины ущербов приходится на гидрологические явления. Кроме того, паводки и половодья могут быть

косвенной причиной отрицательного влияния на производство, дополняя ущербное воздействие засух, ливней, раннего снега, ураганов и др.

Таким образом, при рассмотрении влияния экстремальных природных явлений на хозяйственную деятельность человека для смягчения ущербов необходимо анализировать различные ситуации: 1) воздействие одного гидрологического события; 2) воздействие двух и более гидрологических явлений; 3) влияние гидрологических событий совместно с другими природными экстремальными явлениями.

Приведенные ситуации необходимо использовать при планировании производства в условиях рисков [6]. Обычно в литературе определяются планы производства сельскохозяйственной продукции на основании за-

дач математического программирования для некоторых усредненных природно-климатических условий. Вместе с тем в работах [12, 13] предложены теоретические основы моделирования различных процессов в условиях неопределенности. Статья [2] посвящена прикладной модели оптимизации производства продукции с интервальными параметрами. Авторы работы [1] описывают оптимизационные модели аграрного производства на территориях, подверженных наводнениям и засухам. Между тем предлагаемые модели не отражают всего разнообразия возникающих ситуаций планирования в условиях рисков.

Кроме того, наличие множества оптимальных решений, зависящих от неопределенных параметров, требует специфических алгоритмов решения задач математического программирования в условиях неопределенности.

В статье предложены варианты построения задач оптимизации аграрного производства в условиях проявления высоких весенних половодий, дождевых паводков и их совмещений с использованием разработанных алгоритмов моделирования оптимально-го решения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

По признаку влияния на параметры экстремальных природных явлений задачи математического программирования применительно к сельскохозяйственному производству можно разделить на две группы: с интервальными и случайными параметрами. Результатом моделирования являются оптимальные решения, связанные с вероятностью, или верхние и нижние оценки [2, 12, 13 и др.]. В работе [2] приведена задача математического программирования с интервальными параметрами для решения прикладных проблем. Для подобных задач часто интерес вызывают результаты, при которых целевая функция достигает экстремальных значений $f_{\min}^{\min}(X^*)$, $f_{\min}^{\max}(X^*)$ и медианы $f_{\min}^{med}(X^*)$. Конечно, для

управления производством могут быть использованы и другие оптимальные планы, например, усредненные значения из верхних и нижних частей ранжированного ряда критерия оптимальности при их заданном количестве: $f_{\min}^{\min}(X^*)$, $f_{\min}^{\max}(X^*)$. Решения $X^*(x_1^*, x_2^*, x_j^*, \dots, x_j^*)$ и $\bar{X}(x_1, x_2, x_j, \dots, x_j)$ представляют собой векторы оптимальных планов для соответствующих целевых функций. Подобные задачи имеют теоретическое и практическое значение при недостаточности и неоднородности данных.

Если параметры модели представляют собой случайные величины, то задачу математического программирования можно представить в редакции:

$$f = \sum_{j \in J} c_j x_j + \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} d_{hj}^p x_j \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j - \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} v_{hij}^p x_j \{ \leq, =, \geq \} b_i - \sum_{h \in H} w_{hi}^p \quad (2)$$

$$(i \in I),$$

$$x_j \geq 0 \quad (j \in J), \quad (3)$$

где d_{jh}^p – ущерб, причиненный природным событием h производству продукции j ; a_{ij} и v_{hij}^p – коэффициенты в системе ограничений без учета и с учетом влияния экстремального явления h ; b_i и w_{ih}^p – правые части ограничений при условии уменьшения ресурсного потенциала ввиду проявления природного события h ; p – расчетные вероятности; H – количество природных событий. В этой задаче двойные суммы учитывают увеличение затрат на производство под влиянием ряда экстремальных явлений, а правая часть ограничений характеризуется уменьшением ресурсов. Задачу (1)–(3) авторами предложено использовать для описания производства сельскохозяйственной продукции в условиях проявления весенних половодий и дождевых паводков. Результатом решения задачи (1)–(3) может быть вероятностное распределение критерия оптимальности.

Для описания непосредственного влияния одного экстремального явления на производственные процессы (дождевого паводка или весеннего половодья) нами предлагается использовать задачу математического программирования со случайными параметрами:

$$f = \sum_{j \in J} c_j x_j + \sum_{j \in J} d_j^p x_j \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j - \sum_{j \in J} v_{ij}^p x_j \{ \leq, =, \geq \} b_i - w_i^p \quad (i \in I), \quad (5)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j \in J), \quad (6)$$

где x_j – искомая переменная; c_j – затраты на производство j -ой продукции; d_j^p – ущерб, причиненный природным событием производству продукции j ; a_{ij} и v_{ij}^p – коэффициенты в системе ограничений без учета и с учетом влияния экстремального явления; b_i и w_i^p – правые части ограничений при условии уменьшения ресурсного потенциала ввиду проявления природного события; p – расчетные вероятности.

Общую задачу математического программирования со случайными параметрами (1)–(3) можно разделить на частные задачи: 1) критерий оптимальности является вероятностным, а ограничения – детерминированными; 2) случайные параметры – это коэффициенты при неизвестных в левых частях ограничений или правые части условий.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРОЯВЛЕНИЯ ВЫСОКОГО ДОЖДЕВОГО ПАВОДКА И ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

Для определения планов производства растениеводческой продукции и сочетания отраслей авторами описывались следующие ситуации. Во-первых, применялись модели с одним (4)–(6) и двумя гидрологическими событиями (1)–(3), характеризующими высокие весенние половодья и дождевые паводки. Во-вторых, описывались случаи влияния экстремального явления на критерий оптимальности или различные части ограничений. В-третьих, рассматривались совмещения событий, изменяющих значения параметров модели. В-четвертых, описаны различные задачи математического программирования в условиях проявления редкого гидрологического события. В дополнение к этому рассмотрена ситуация с редким совмещением дож-

девого паводка и весеннего половодья. При этом природные и производственно-экономические параметры предложенных моделей представляют собой случайные оценки.

В работе [1] реализованы задачи математического программирования, позволяющие оптимизировать производство сельскохозяйственной продукции в условиях проявления дождевых паводков, весенних половодий и агрономических засух для предприятия ООО «Талинка», расположенного в бассейне р. Бирюсы. Рассмотрены ситуации совместного проявления многих природных событий.

Приведенные задачи в условиях неопределенности можно свести к линейным. Поскольку разработанные модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции характеризуются множеством оптимальных решений, связанных с вероятностями или верхними, нижними или промежуточными оценками, для их определения эффективным является метод статистических испытаний. При этом алгоритмы получения оптимальных планов при неполной информации можно разделить на две группы: 1) решения в виде распределений вероятностей или оценок интервальных значений критерия оптимальности; 2) решения и оценка рассеяния вероятностей и значений целевой функции [4].

Алгоритмы первой и второй группы в свою очередь можно разделить на учитывающие историко-архивные свидетельства и не учитывающие их, с использованием некоторого критического уровня превышения и без него. Приведем описание двух разработанных алгоритмов [4].

При работе по первому алгоритму решения задачи оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с моделированием редкого максимального расхода воды (первое или второе наибольшее значение сортированного ряда) в пределах периода, учитывающего историко-архивные данные (N), сначала задается число моделируемых рядов m длиной N . С помощью метода Монте-Карло генерируются псевдослучайные числа P_{ij} , по которым по заданному закону распределения вероятностей вычисляются максималь-

ные расходы воды $Q_{\max_{ij}}$. Из полученных значений выбирают наибольшие $Q_{\max_j}^{\max}$, число которых соответствует m . По этим данным и соответствующим им вероятностям P_j строят зависимость. Для каждого максимального расхода $Q_{\max_j}^{\max}$ и вероятности P_j вычисляются затопливаемые площади V_j по зависимости $V = f(Q_{\max})$. После этого решается задача оптимизации производства сельскохозяйственной продукции. Каждый оптимальный план f_j^P соответствует вероятности P_j . Полученные решения имеют значение для управления производственными процессами в крайне неблагоприятных условиях.

При применении второго алгоритма оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с учетом редкого гидрологического события на основе определения вероятности его проявления методом статистических испытаний с использованием закона распределения по условию $Q_{\max} \geq Q_{\max}^{\max}$ на первом этапе задается число моделируемых рядов m разной длины. Затем с помощью метода Монте-Карло генерируются псевдослучайные числа P_i , с помощью которых по заданному закону распределения вероятностей вычисляются максимальные расходы воды. Генерирование рядов максимального стока осуществляется до выполнения условия $Q_{\max_{ij}} \geq Q_{\max}^{\max}$. Согласно полученным рядам определяют два наибольших значения $Q_{\max_{1j}}^{\max}$, $Q_{\max_{2j}}^{\max}$ и соответствующие им P_{1j} и P_{2j} . По величинам $Q_{\max_{1j}}^{\max}$, $Q_{\max_{2j}}^{\max}$ и соответствующим им P_{1j} и P_{2j} рассчитывается вероятность P_j фактического значения Q_{\max}^{\max} . После этого на основе зависимости $V = f(Q_{\max})$ определяется затопливаемая территория и находится оптимальный план производства сельскохозяйственной продукции с целевой функцией f . При этом учитывается рассеяние вероятностей P_j .

Разработанные модели применимы для планирования производственных процессов в сельскохозяйственных предприятиях, земли которых расположены в плодородных пойменных зонах [11]. Задачи оптимизации решены для двух хозяйств, находящихся вблизи р. Бирюсы. Применение прикладных моделей позволяет оценить ущербы, причи-

ненные гидрологическим явлением и определить суммы страховых возмещений.

Теоретическое и практическое значение имеют задачи планирования производства в условиях природных рисков – проявление одного редкого гидрологического события или редкого совмещения различных событий. Исследование изменчивости максимальных расходов воды за последние 80 лет показывает, что редкие паводки на различных реках бассейнов Ангары и верхней части Лены формируются примерно один раз в 10 лет. Во многих случаях при проявлении таких экстремальных явлений работа хозяйства будет временно парализована. Между тем наблюдаются и другие ситуации, когда часть сельскохозяйственных угодий может быть использована.

Для оптимизации получения сельскохозяйственной продукции при формировании редкого гидрологического явления, причиняющего частичный ущерб предприятию агропромышленного комплекса в виде затопления земель и сельскохозяйственных культур, предлагаются следующие модели: 1) с расчетной вероятностью гидрологического события и усредненными производственно-экономическими параметрами; 2) с расчетной вероятностью гидрологического события и неопределенными производственно-экономическими параметрами; 3) с расчетной вероятностью редкого совмещения гидрологических событий и усредненными производственно-экономическими параметрами; 4) с расчетной вероятностью редкого совмещения гидрологических событий (весеннее половодье и дождевой паводок) и неопределенными производственно-экономическими параметрами.

В дополнение к этому поставленные задачи могут быть решены с учетом рассеяния вероятностей не превышения редких максимальных расходов воды и вариации их расчетных значений. Первые две модели применимы при влиянии одного гидрологического события на производственно-экономические параметры. Третья и четвертая задачи имеют значение для сельскохозяйственных предприятий, расположенных в бассейнах рек, на

которых формируются весенние половодья и дождевые паводки.

К этому следует добавить, что приведенные задачи и алгоритмы их решения применимы для каждого события, представляющего собой случайную величину, которой соответствует некоторая вероятность превышения.

Оптимальные планы производства продовольственной продукции в условиях проявления редкого весеннего половодья (Q_{\max}^{\max}) для реального сельскохозяйственного предприятия определены при помощи алгоритмов с применением статистических испытаний. При этом для оценки квантилей редких явлений с учетом историко-архивных данных использовано распределение Пирсона III типа, выделенное из множества законов, предложенных в различных источниках литературы [3, 8, 14 и др.]. Согласно результатам моделирования по первому алгоритму (моделирование редкого природного события в пределах периода, учитывающего историко-архивные данные) ущерб варьирует в пределах 26,1–100 % по сравнению с благоприятной ситуацией. При этом может быть затоплено 24,5–100 % сельскохозяйственных угодий. Погрешность максимального расхода воды 3200 м³/с составляет $\sigma_Q = 510 \text{ м}^3/\text{с}$, вероятность p для уровней значимости 0,05 и 0,95 изменяется в диапазоне 0,000445–0,0383.

Согласно второму алгоритму ущерб по сравнению с благоприятной ситуацией равен 53,9 %. Затоплено будет 54,4 % сельскохозяйственных угодий. Интервал изменения вероятности редкого расхода воды меньше (0,0126–0,0304), чем в предыдущем случае. Таким образом, для вероятности редкого весеннего половодья 0,0137 рассчитан оптимальный план, позволяющий минимизировать ущерб с наименьшими потерями 5,854 млн. руб. согласно второму алгоритму.

В дополнение к этому при сравнении оптимальных планов, полученных с учетом влияния редкого весеннего половодья на производство и для благоприятных условий, при однотипной структуре производства сочетания отраслей производитель понесет убытки в размере 53,9 %. При этом площади зерновых культур сократятся на 54 %, однолетних трав

на сенаж – на 55 %, многолетних трав на сено и зеленый корм – на 38 и 75 %, естественных пастбищ – на 27 %, производство продукции животноводства – на 55 %. В приведенных условиях расчетные страховые возмещения составят 5,961 млн. руб. согласно методике [9] и полученным оптимальным планам.

Для второй задачи вместо средней учитывалась высокая биопродуктивность зерновых культур согласно работе [5], в которой показано, что такое явление наблюдается в годы формирования редкого дождевого паводка. При моделировании использовано максимальное значение урожайности зерновых культур по административному району, в котором находится сельскохозяйственное предприятие.

Согласно результатам решения задачи ущерб, наносимый гидрологическим событием, ниже аналогичных значений при усредненной урожайности сельскохозяйственных культур, составляет 23,3–96,7 % по первому и 49,7 % – по второму алгоритму. При этом в структуре производства следует отметить большее количество голов крупного рогатого скота, чем в задаче с усредненной урожайностью на 1,3–22,2 и 15,4 % по первому и второму алгоритму соответственно.

В приведенной задаче расчетные страховые возмещения составят по первому алгоритму 2,724–11,943 млн. руб., а по второму – 6,062 млн. руб. согласно методике [9] и полученным оптимальным планам.

В дополнение к этому реализованы модели с редким совмещением гидрологических событий и использованием алгоритмов оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с учетом гидрологических событий, основанных на методе Монте-Карло. Рассмотрена ситуация, когда за высоким весенним половодьем следует разрушительный дождевой паводок.

Для предприятия ООО «Талинка» решена задача оптимизации производства с учетом редкого совмещения максимальных расходов воды Q_{\max} дождевого паводка и весеннего половодья, имевшего место на р. Бирюсе в 1988 г. (табл.).

Результаты решения задачи математического программирования для ООО «Талинка» с учетом редкого совмещения весеннего половодья и дождевого паводка на р. Бирюсе (Бирюсинск) по первому и второму алгоритму

Явление	Q_{\max} , м ³ /с	$Q_{0,95}$, м ³ /с	$Q_{0,05}$, м ³ /с	σ_Q , м ³ /с	p	$p_{0,05}$	$p_{0,95}$	ζ	$\zeta_{0,05}$	$\zeta_{0,95}$	*(1) Ущерб, млн. руб.	** (2) Ущерб, млн. руб.
Первый алгоритм												
Весеннее половодье	2690	2550	3350	242	0,0473	0,00916	0,0590	0,0748	0,0171	0,0918	7,975– 18,986	7,706– 18,624
Дождевой паводок	3490	3140	4880	523	0,0289	0,00402	0,0517					
Второй алгоритм												
Весеннее половодье	2690	–	–	–	0,0509	0,0458	0,0828	0,0824	0,0736	0,120	13,454	12,430
Дождевой паводок	3490	–	–	–	0,0296	0,0272	0,0512					

*(1) Усредненные величины урожайности сельскохозяйственных культур

** (2) Высокая урожайность зерновых культур

Согласно полученным оптимальным планам по приведенным алгоритмам моделирования наибольших максимальных расходов воды ущерба могут значительно колебаться в зависимости от рассеяния вероятностей превышения ($\zeta_{0,05}$, $\zeta_{0,95}$). В приведенном случае для совместных событий согласно первому алгоритму вероятность совмещения гидрологических событий составляет 0,0748 с рассеянием для уровней значимости 0,05 и 0,95, соответствующим 0,0171 и 0,0918. При этом суммарный ущерб при усредненной урожайности сельскохозяйственных культур изменялся в пределах 7,975–18,986, а при высокой 7,706–18,624 млн. руб.

По второму алгоритму при появлении совместных событий с вероятностью 0,0824 получено два оптимальных плана при усредненной и высокой урожайности со значениями целевых функций, составившими 13,454 и 12,430 млн. руб.

Сравнение полученных оптимальных планов в благоприятных условиях и при влиянии редкого совмещения гидрологических событий при однотипной структуре производства сочетания отраслей показывает, что хозяйство понесет убытки в размере 102 % при высокой и 129,4 % при средней урожайности

зерновых культур. При этом структура производства выглядит следующим образом: сократились площади зерновых культур на 41 %, многолетних трав на сено и зеленый корм на 36 %, однолетних трав на 73 %, соломы на 46 %, выход продукции животноводства на 80 %. К этому добавим, что расчетные страховые выплаты соответствуют 9,863 и 9,150 млн. руб. при средней и высокой урожайности зерновых культур с учетом методики [9] и полученных оптимальных планов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные модели предложены для повышения эффективности управления сельскохозяйственным производством в условиях проявления природных событий. Они позволяют планировать производство, учитывая природные риски, и оценивать страховые возмещения.

Среди моделей оптимизации производства сельскохозяйственной продукции особое место занимают те из них, которые учитывают воздействие редких явлений или событий с малой вероятностью. Они отражают наихудшие ситуации работы сельскохозяйственного предприятия. При этом при

моделировании необходимо учитывать не только влияние одного редкого события, но и редкие совмещения гидрологических событий. Результаты моделирования на реальных объектах показывают возможности улучшения управления предприятием.

Приведенные модели математического программирования более точно оценивают реальные ситуации при рассмотрении формирования отдельного события или редкого совмещения событий. В последнем случае общая модель как бы разделяется на множество задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белякова А. Ю.* Модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции со статистическими оценками наводнений и засух / А. Ю. Белякова, Е. В. Вашукевич, Е. С. Труфанова // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* 2008. – Спецвыпуск. С. 152–158.
2. *Булатов В. П.* Математическое моделирование развития и функционирования региональных систем / В. П. Булатов, Н. И. Федуркина // *Материалы Всероссийской конференции «Инфокоммуникационные и вычислительные технологии и системы».* Улан-Удэ. 2003. – Ч. 1. С. 12–16.
3. *Гриневич Г. А.* Композиционное моделирование гидрографов / Г. А. Гриневич, Н. А. Петелина, А. Г. Гриневич. – М. : Наука, 1972. – 182 с.
4. *Иваньо Я. М.* О двух алгоритмах оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом оценок редких природных событий / С. А. Петрова, Я. М. Иваньо // *Научно-практический и информационно-аналитический журнал «Экологический вестник».* – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2013. № 2 (24). С. 91–97.
5. *Иваньо Я. М.* Решение задач управления аграрным производством в условиях неполной информации / Отв. ред. Я. М. Иваньо. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2012. – 220 с.
6. *Кириллюк В. С.* Меры риска в задачах стохастической оптимизации для получения робастных решений // *Стохастическое программирование и его приложения.* – Иркутск : Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 2012. – С. 104–124.
7. *Кренке А. Н.* Изменчивость климата Европы в историческом прошлом / А. Н. Кренке, М. И. Чернавская, Р. Браздил и др. – М. : Наука, 1995. – 224 с.
8. *Крицкий С. Н.* Гидрологические основы управления речным стоком / С. Н. Крицкий, М. Ф. Менкель. – М. : Наука, 1981. – 255 с.
9. Приказ Минсельхоза России от 14 марта 2013 г. № 133 «Об утверждении методик определения страховой стоимости и размера утраты (гибели) урожая сельскохозяйственной культуры и посадок многолетних насаждений, утраты (гибели) сельскохозяйственных животных».
10. *Рождественский А. В.* Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока / А. В. Рождественский, А. В. Сахарюк, В. А. Лобанов – Ленинград : Гидрометеоздат, 1984. – 78 с.
11. *Серышев В. А.* Агрорландшафтное районирование Иркутской области / В. А. Серышев, В. И. Солодун // *География и природные ресурсы.* – 2009. – № 2 – С. 86–94.
12. *Фидлер М.* Задачи линейной оптимизации с неточными данными / М. Фидлер [и др.]; пер. С. И. Кумков; ред. перевода С. П. Шарого. – М.; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2008. – 288 с.
13. *Юдин Д. Б.* Математические методы управления в условиях неполной информации. М.: Советское радио, 1974. – 400 с.
14. *Van Gelder, P.H.A.J.M.* Statistical estimation methods in hydrological engineering // *Proceeding International scientific seminar (Irkutsk, 16–23 June 2003 y.) Analysis and stochastic modeling of extreme runoff in euroasian rivers under conditions of climate change.* – Irkutsk Publishing House of the Institute of Geography SB RAS, 2004. – С. 11–58.

Бендик Н. В. – к.т.н., доцент кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского.
E-mail: starkovan@list.ru

Иваньо Я. М. – д.т.н., профессор кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского.
E-mail: iymex@rambler.ru

Петрова С. А. – к.т.н., ст. преподаватель кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского.
E-mail: sofia.1987@bk.ru

Bendik N. V. – candidate of technical sciences, docent of chair informatics and mathematical modeling, Irkutsk state agricultural university after named A. A. Ezhevsky.
E-mail: starkovan@list.ru

Ivan'о Ya. M. – doctor of technical sciences, professor of chair informatics and mathematical modeling, Irkutsk state agricultural university after named A. A. Ezhevsky.
E-mail: iymex@rambler.ru

Petrova S. A. – candidate of technical sciences, senior teacher of chair informatics and mathematical modeling, Irkutsk state agricultural university after named A.A. Ezhevsky.
E-mail: sofia.1987@bk.ru