

Модели роста с насыщением в задаче параметрического программирования применительно к аграрному производству

Иваньо Ярослав Михайлович, Петрова Софья Андреевна, Цыренжапова Валентина Вячеславовна

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
Россия, Иркутская обл., Иркутский р-он, п. Молодежный, iasa_econ@rambler.ru

Аннотация. В работе приведены результаты применения моделей роста с насыщением для решения прогностических задач и оптимизации производства аграрной продукции на основе моделей параметрического программирования. Решались задачи построения асимптотических и логистических моделей для среднесрочного прогнозирования показателей аграрного производства; сравнения результатов моделирования по асимптотическим и логистическим моделям; построения и применения моделей параметрического программирования с использованием моделей роста с насыщением для оптимизации производства аграрной продукции. При этом использованы методы математического моделирования, прогнозирования, теории вероятностей и математической статистики и параметрического программирования. В результате предложены многоуровневые асимптотические и логистические модели для прогнозирования производственно-экономических показателей сельскохозяйственного производства на примере урожайности зерновых культур. Верхний уровень (тренд пиков) характеризует благоприятные условия деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя, а нижний (тренд ложбин) описывает неблагоприятные ситуации получения продукции. Показано, что модели роста с насыщением имеют преимущество относительно линейных и нелинейных трендовых моделей, не ограниченных верхней оценкой, по точности и значимости. Кроме того, такие модели в меньшей степени ограничены заблаговременностью, зависимой от количества данных. При сравнении асимптотической и логистической моделей выделены их преимущества и недостатки. Разработанные математические модели реализованы на реальных объектах. Предложена многоуровневая модель параметрического программирования с использованием логистической функции для оптимизации производства аграрной продукции. Приведены прогнозы урожайности сельскохозяйственных культур и оптимальные планы производства продукции до 2024 года для разных ситуаций – благоприятная, усредненная и неблагоприятная. Предложенный алгоритм получения оптимальных решений направлен на улучшение управления производством аграрной продукции.

Ключевые слова: асимптотическая модель, логистическая модель, параметрическое программирование, прогнозирование, аграрное производство

Цитирование: Иваньо Я.М. Модели роста с насыщением в задаче параметрического программирования применительно к аграрному производству/ Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, В.В. Цыренжапова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 2(26). – С. 42-52. – DOI:10.38028/ESI.2022.26.2.004.

Введение. На уровне страны и регионов разрабатываются концепции и программы по развитию сельскохозяйственных предприятий на длительные периоды, что предполагает расширения исследований по теоретическим и прикладным аспектам, связанным с моделированием производственных процессов. Кроме того, рыночные отношения создают благоприятную среду, в которой любая категория хозяйств может свободно функционировать, руководствуясь собственными возможностями и интересами. В сложившейся ситуации предприятиям необходимо не только оптимизировать производство и находить дополнительные резервы для развития, но и предвидеть будущее.

Изучением и применением различных классов оптимизационных моделей, в том числе, применяемых для повышения эффективности управления в аграрном производстве, занимались многие исследователи: М. Е. Браславец, А. М. Гатаулин, В. А. Кардаш, В. Г. Кравченко, М. М. Тунеев, Д. Б. Юдин и другие [1 – 13]. Особо выделим работы,

связанные с поддержкой принятия решений в области менеджмента с учетом и без учета рисков [11, 14, 15, 16, 17].

Анализ задач математического программирования показывает, что модели параметрического программирования могут расширить возможности моделирования производства аграрной продукции в условиях недостаточности информации [1, 4, 7, 8, 9, 13].

Статистический анализ производственно-экономических показателей деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей показывает, что многие из них могут быть описаны с помощью трендов, факторных, авторегрессионных и смешанных моделей [1, 4, 7, 8, 9]. При этом для планирования производства аграрной продукции можно использовать задачи параметрического программирования для разных условий производственной деятельности [4, 9]. Если модели описания динамики производственно-экономических показателей являются качественными, то с их помощью возможно прогнозирование.

Модели роста широко используются для прогнозирования различных сфер хозяйственной деятельности человека. В работе [18] приведены примеры использования асимптотических и логистических функций для предсказания поведения природных ресурсов. В работе [19] модели роста предлагается использовать для моделирования численности популяций.

Авторами работ [4, 9] функция с насыщением применена для оценки производства продукции сельскохозяйственной организацией при разной интенсивности роста, связанной с динамикой внедрения новых технологий. Причем временной ряд рассмотрен в виде многоуровневых последовательностей, которые выделяются на основе анализа пиков и ложбин [20].

Подобные функции применялись для планирования аграрного производства в ряде работ [1, 4, 9]. В монографии [4] асимптотическая функция использована для среднесрочного прогнозирования показателей сельскохозяйственного производства.

Асимптотическая и логистическая функция характеризуются некоторым предельным значением y_m , которое может быть определено экспертами или с помощью комплексной оценки развития событий. В некоторых случаях при оценке верхнего значения можно ориентироваться на аномальные значения временного ряда показателя y .

Модели с насыщением имеют следующий вид:

$$\frac{dy}{dt} = k(y_m - y), \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = ky(y_m - y), \quad (2)$$

где k – коэффициент скорости роста.

Для применения вышеуказанных моделей необходимо знание начальных и граничных условий, а также значение насыщения.

Асимптотическая модель (1) применена в некоторых работах [1, 4] для оценки перспективы производства аграрной продукции. Вместе с тем не изучены возможности приложения логистической модели (2) для прогнозирования показателей аграрного производства.

Поэтому целью работы является сравнительная оценка применения логистических и асимптотических трендов для прогнозирования и оптимизации объемов производства аграрной продукции с использованием параметрического программирования при благоприятных, неблагоприятных и усредненных условиях производственной деятельности товаропроизводителей. Для достижения цели решались задачи определения качественных многоуровневых трендовых моделей на основе функций с насыщением и построения

моделей параметрического программирования с использованием многоуровневых трендовых моделей. Задачи решены на примере данных муниципальных районов и хозяйства Иркутской области.

1. Методы и материалы. Для оценки возможностей математических моделей использованы данные по урожайности пшеницы, ячменя, овса в Иркутском районе за период 1996 – 2019 гг. При решении задач оптимизации объемов при производстве аграрной продукции применялись методы параметрического программирования. В качестве данных использованы результаты деятельности ООО «Сибирская Нива», расположенного в Иркутском районе.

2. Основные результаты. Модели в виде асимптотической и логистической функции с учетом планового показателя показаны на рис. 1. Из анализа выражений, описывающих урожайность пшеницы, следует, что обе функции соответствуют показателям точности и значимости согласно F -критерию Фишера и t -статистикам Стьюдента. Остальные модели, в том числе нелинейные, неприемлемы для прогнозирования урожайности овса.

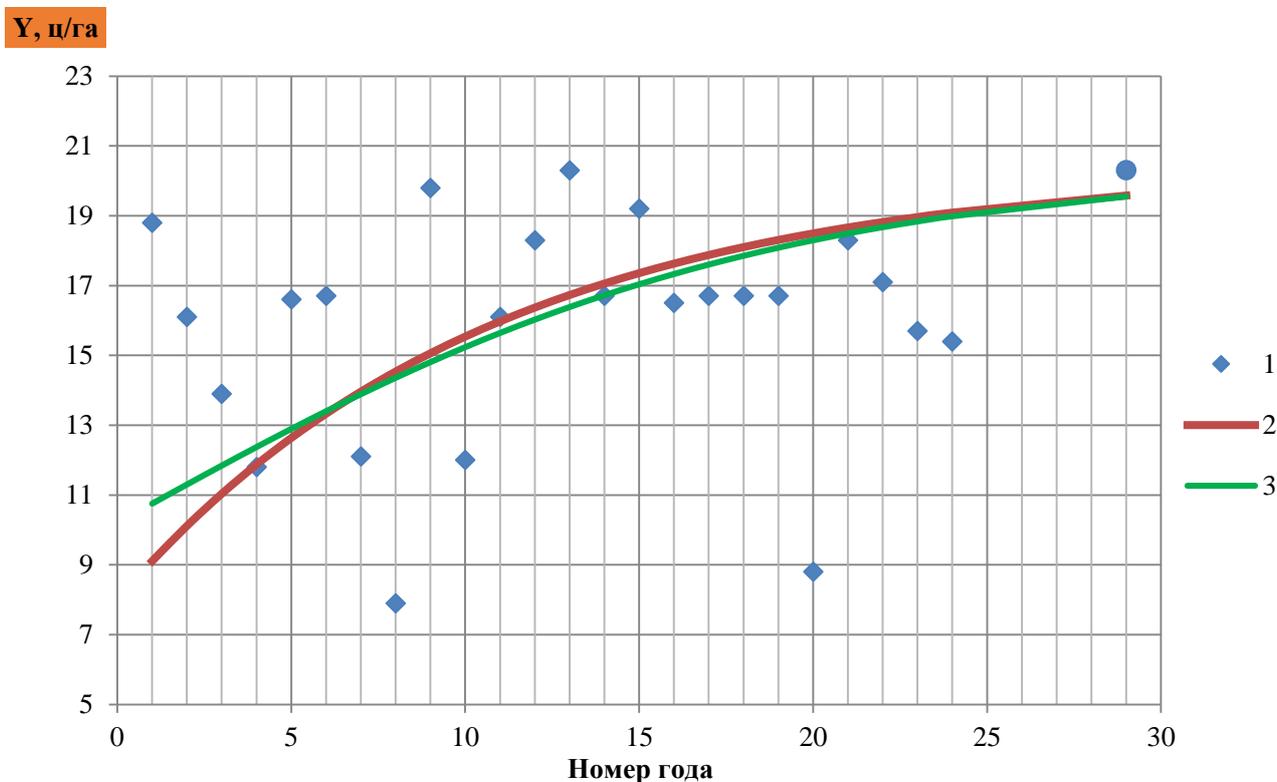


Рис. 1. Динамика урожайности овса в Иркутском районе по данным за 1996 – 2019 гг. (1) с трендами в виде асимптотической (2) и логистической (3) функции с нулевыми константами

Наибольшее значение u_{max} было выбрано равным для урожайности пшеницы 24,6 ц/га, овса - 20,4 ц/га и ячменя - 24,9 ц/га на основе максимального эмпирического значения временного ряда с добавкой в 0,1 ц/га, которая характеризует точность урожайности. Аналогично было определено минимальное значение урожайности зерновых культур. Для решения прикладных задач получены зависимости, описывающие динамику урожайности зерновых культур по данным Иркутского района с учетом плановых показателей на 2024 г.

На основе многолетних данных по урожайности пшеницы и овса в Иркутском районе за период 1996 - 2019 гг., а также плановых показателей 2024 года построены

асимптотическая и логистическая модели для среднесрочного прогнозирования показателей аграрного производства (табл. 1).

Таблица 1. Асимптотическая и логистическая модель и их статистические параметры для многолетнего ряда урожайности пшеницы и овса в Иркутском районе за 1996 – 2019 гг. и прогностические значения (с плановым показателем 2024 г.)

Уровни ряда	Уравнение	R^2	F - критерий	t -статистика	Прогноз, ц/га		
					2020	2022	2024
Пшеница							
Все значения	$y=24,6-13,8e^{-0,0734t}$	0,53	27,33	5,22	22,4	22,7	23,0
Нижние	$y=19,0-7,8e^{-0,1044t}$	0,68	16,8	4,10	18,4	18,5	18,6
Верхние	$y=24,6-11,3e^{-0,122t}$	0,70	16,4	4,04	24,1	24,2	24,3
Все значения	$y=24,6/(1+e^{-0,08797t})$	0,57	31,95	5,65	22,1	22,5	22,8
Нижние	$y=19,0/(1+e^{-0,142t})$	0,75	23,4	4,84	18,5	18,6	18,7
Верхние	$y=24,6/(1+e^{-0,153t})$	0,78	24,5	4,95	24,1	24,2	24,3
Овес							
Все значения	$y=20,4-12,4e^{-0,0936t}$	0,57	31,87	5,65	19,2	19,4	19,6
Нижние	$y=16,8-7,9e^{-0,107t}$	0,51	6,36	2,90	16,3	16,4	16,4
Верхние	$y=20,4-3,7e^{-0,0914t}$	0,58	8,3	2,81	20,0	20,1	20,14
Все значения	$y=20,4/(1+e^{-0,108t})$	0,57	31,92	5,65	19,1	19,4	19,6
Нижние	$y=16,8/(1+e^{-0,129t})$	0,54	6,94	2,64	16,2	16,3	16,4
Верхние	$y=20,4/(1+e^{-0,176t})$	0,78	21,3	4,62	20,15	20,2	20,3

В табл. 1 приведены точечные прогнозы урожайности пшеницы и овса на 2020, 2022 и 2024 гг. Предложенные модели учитывают эмпирические данные и плановый показатель, который в конкретном случае характеризует наибольшую урожайность за рассматриваемый период. Этот показатель является управляемым, позволяя подбирать адекватный план развития производства в Иркутском районе.

Обратим внимание на следующие преимущества моделей роста с насыщением в виде логистической и асимптотической функции. Во-первых, они значительно точнее линейных и нелинейных трендовых моделей, не ограниченных верхней оценкой, с помощью которых прогнозируют будущие ситуации по известным из прошлого значениям. Во-вторых, модели с верхней оценкой в меньшей степени ограничены заблаговременностью, зависимой от количества данных. В-третьих, все предложенные уравнения регрессии значимы, а также значимы коэффициенты роста. Вместе с тем прогнозы тесно связаны с уровнем насыщения или верхней оценкой. От того, насколько она адекватна реальной ситуации, зависит точность прогнозирования.

Однако не во всех случаях удастся получить значимые выражения. В частности, для урожайности ячменя коэффициент детерминации (R^2) оказался ниже 0,50. Поэтому для этой культуры можно построить зависимость с невысокой точностью в качестве некоторого ориентира для деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя.

Полученные математические модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур могут быть использованы для оптимизации производства аграрной продукции с применением задачи параметрического программирования.

Математическая модель оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом параметра в левой части ограничений приведена в работе [4]. Модификацией этой

модели является учет неоднородности земельных участков и использование логистической функции (2), описывающей коэффициенты при неизвестных левых частях ограничений, характеризующих объемы производства продукции. Приведем задачу параметрического программирования, целевая функция которой характеризует максимум дохода сельскохозяйственного предприятия:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max, \quad (3)$$

при условиях:

- ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ijl} x_{ij} \leq A_l, \quad l \in L; \quad (4)$$

- ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n}_r \leq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (1 + \alpha_{ij}) x_{ij} \leq \bar{n}_r, \quad r \in R; \quad (5)$$

- производства конечной продукции не менее заданного объема

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} v_{ijq}(t) x_{ij} \geq V_q, \quad q \in Q; \quad (6)$$

- определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} b_{ijm} x_{ij} \leq B_m, \quad m \in M; \quad (7)$$

- неотрицательности переменных

$$x_{ij} \geq 0, \quad (8)$$

где x_{ij} – искомая переменная, площадь культуры j или вида кормовых угодий на участке i ; c_{ij} – доход с единицы площади j -культуры или вида кормовых угодий на участке i ; a_{ijl} – расход ресурса l на единицу площади культуры j или вида кормовых угодий на участке i ; A_l – наличие ресурса l -вида; V_q – гарантированный (обязательный объем) производства продукции вида q ; \bar{n}_r , \underline{n}_r – максимально и минимально возможная площадь культур группы r ; $v_{ijq}(t)$ – соответственно выход товарной продукции q – вида с единицы площади культуры j на участке i ; α_{ij} – коэффициент, учитывающий площадь семенных посевов для культуры j на участке i ; b_{ijm} – расход удобрений видов m и средств защиты на единицу площади культуры j или вида кормовых угодий на участке i ; B_m – необходимый объем удобрений вида m .

В модели (3) – (8) левая часть ограничения (6) зависит от параметра t , который представляет собой время. При этом функция $v_{qs}(t)$ может быть описана в виде линейного и нелинейного выражения. В частности, для рассмотренных выше ситуаций показатель выхода товарной продукции имеет вид:

$$v_{ij} = \frac{v_{ij}^m}{(1 + e^{-\beta_{ij}t})}, \quad (9)$$

$$v_{ij} = v_{ij}^m - (v_{ij}^m - v_{ij}^{\min}) e^{-\beta_{ij}t}, \quad (10)$$

$$v_{ij} = v_{ij}' t^{v_{ij}''}, \quad (11)$$

где v_{ij}^m , v_{ij}^{\min} – верхняя и нижняя оценки выхода продукции вида j с единицы площади на участке i ; β_{ij} – коэффициенты, характеризующие степень роста показателя; v_{ij}' , v_{ij}'' – параметры степенной функции.

Применим математическую модель (3) – (11) для сельскохозяйственной организации ООО «Сибирская Нива» Иркутского района, сделав допущение, что развитие деятельности организации согласовывается с вектором развития Иркутского района (табл. 1). Другими словами, тенденции изменения урожайности зерновых культур в хозяйстве соответствуют трендам этого показателя по району.

Для реализации модели использован следующий алгоритм.

Во-первых, в каждом временном ряду урожайности сельскохозяйственных культур выделены последовательности нижних и верхних уровней.

Во-вторых, для рядов со всеми значениями и выделенных последовательностей подобраны значимые тренды согласно коэффициенту детерминации, F -критерию Фишера и t -статистикам Стьюдента. В конкретном случае для урожайности пшеницы и овса предложена логистическая функция (9), а для урожайности ячменя – асимптотическое выражение (10). Для урожайности капусты и моркови использована степенная зависимость (11). Поскольку ряд урожайности картофеля характеризуется отсутствием тренда и незначительной вариацией, уровни оценивались с помощью средних значений и стандартных отклонений всего ряда и последовательностей нижних и верхних уровней.

В-третьих, формировалась задача линейного программирования, куда вошли показатели модели (3) – (7) и расчетные значения по трендам.

В-четвертых, решалась задача линейного программирования для конкретного года и уровня.

Затем третий и четвертый этапы повторялись многократно.

При реализации модели параметрического программирования сделано допущение об однородности участков посева.

Результаты оптимальных решений приведены в таблице 2.

Таблица 2. Оптимальные решения задачи параметрического программирования по данным Иркутского района на 2020, 2022 и 2024 гг. для ООО «Сибирская Нива» с использованием трендов трех уровней урожайности сельскохозяйственных культур

Год	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	Целевая функция, тыс. руб.
	Пшеница	Ячмень	Овес	Картофель	Капуста	Морковь	
Площадь, га	178	280	162	40	37	10	
Объемы производства продукции, т							
Средний уровень							
2020	393,4	613,2	309,4	632,0	1132,2	264,0	53663,89
2022	400,5	624,4	314,3	660,0	1152,9	271,0	55001,10
2024	405,8	635,6	317,5	688,0	1172,5	277,7	56272,13
Верхний уровень							
2020	429,0	672,0	327,2	667,6	1311,7	273,5	59225,87
2022	430,8	677,6	327,2	688,8	1340,9	278,1	60366,40
2024	432,5	683,2	328,9	710,0	1369,0	282,5	61501,07
Нижний уровень							
2020	329,3	459,2	262,44	596,8	997,15	273,5	47552,21
2022	331,08	462	264,06	623,2	1012,32	278,1	48517,43
2024	332,86	464,8	265,68	649,6	1026,75	282,5	49465,19

Согласно полученным оптимальным решениям для среднего уровня, характеризующего все члены временных рядов, доходы в 2022 г. могут быть увеличены на 2,5 %, а в 2024 г. – более чем на 4,9 %. Рост доходов осуществляется за счет увеличения

объемов производства благодаря прибавкам урожайности сельскохозяйственных культур. При этом распределение земельных ресурсов под посевы не изменяется.

Оптимальные решения по производству объемов растениеводческой продукции на основе трендов последовательностей верхних уровней показывают, что результативность деятельности товаропроизводителя относительно доходов в усредненных условиях может увеличиться на 9,3 – 10,4 %. При этом имеет место замедление процесса роста целевой функции с увеличением времени (таблица 2).

Наиболее сильное расхождение имеет место между значениями целевой функции для усредненных и неблагоприятных условий (тренды последовательностей нижних уровней), которые достигают 11,4 – 12,1 %. Другими словами, потери хозяйства в неблагоприятных условиях могут составить от 6,1 до 6,8 млн руб.

Модель (3) – (11) может быть реализована для муниципальных районов. В частности, ее применение для Иркутского района показало, что сельскохозяйственными товаропроизводителями возможно получение дохода в 2024 г. свыше 1163 млн руб. При этом для усредненных условий объем зерновых может превысить 27000, картофеля – 14300, капусты – 6000, моркови – более 1300 тонн. Что касается возможных потерь (неблагоприятные условия), то они соответствуют почти 9,3 %.

Выводы. Описана предложенная модель параметрического программирования для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с использованием нелинейных трендов, в том числе с насыщением. Общая модель учитывает неоднородность земельных участков, характеризуемую различным плодородием.

Показано преимущество трендовых моделей с насыщением по сравнению с линейными и нелинейными моделями, не ограниченными верхними оценками при применении для прогнозирования и планирования производства аграрной продукции.

Приведен алгоритм реализации модели параметрического программирования для отрасли растениеводства одной из организаций Иркутского района, а также самого муниципального образования.

Результаты моделирования показывают возможности развития сельскохозяйственного товаропроизводителя в различных внешних условиях – благоприятных, неблагоприятных и усредненных. Прогностические и плановые показатели, полученные в неблагоприятных условиях, связаны с рисками производства сельскохозяйственной продукции относительно усредненных оценок.

Список источников

1. Барсукова М.Н. Оптимизационные модели планирования производства стабильных сельскохозяйственных предприятий / М.Н. Барсукова, Я.М. Иваньо. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2011. – 159 с.
2. Браславец М.Е. Экономико-математические методы в организации и планировании сельскохозяйственного производства / М.Е. Браславец. – М.: Экономика, 1971. – 358 с.
3. Гатаулин А.М. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве / А.М. Гатаулин, Г.В. Гавриков, Т.М. Сорокина [и др.]; под ред. А.М. Гатаулина. – М.: Агропромиздат, 1990. – 432 с.
4. Иваньо Я.М. Об одной модели оптимизации производства аграрной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях / Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова, С.А. Петрова // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2020. – № 3 (19). – С. 73-85.
5. Тунеев М.М. Экономико-математические методы в организации и планировании сельскохозяйственного производства: учеб. пособие для с.-х. вузов по экон. спец. / М.М. Тунеев, В.Ф. Сухоруков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 144 с.
6. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации: Задачи и методы стохастического программирования / Д.Б. Юдин. – М.: Ленанд, 2017. – 400 с.

7. Городовская Ж.И. Модели оптимизации сочетания отраслей аграрного производства с учетом изменчивости трудовых ресурсов / Ж.И. Городовская, Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Сб. статей III международной научно-практической конференции (27-29 мая 2014 г.). – Иркутск: ИрГСХА, 2014. – Ч. 2. – С. 23-30.
8. Иваньо Я.М. Задача параметрического программирования с моделями прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, М.Н. Барсукова, Ю.В. Столопова // Прикладная информатика, 2021. – Том 16. – № 6 (96). – С. 131-143. – DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-6-131-143.
9. Математические и цифровые технологии оптимизации производства продовольственной продукции: монография / Я.М. Иваньо, П.Г. Асалханов, М.Н. Барсукова [и др.]; под редакцией Я.М. Иваньо. – Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ, 2021. – 219 с.
10. Кардаш В.А. Модели управления производственно-экономическими процессами в сельском хозяйстве / В. А. Кардаш. – М.: Экономика, 1981. – 183 с.
11. Кардаш В.А. Экономика оптимального погодного риска в АПК / В.А. Кардаш. – М.: Агропромиздат, 1989. – 167 с.
12. Шапкин А.С. Математические методы и модели исследования операций: учеб. / А.С. Шапкин, Н.П. Мазаева. – М.: Дашков и Ко, 2004. – 400 с.
13. Умнов Е.А. Параметрический анализ в задачах математического программирования / Е.А. Умнов, А.Е. Умнов // Труды Московского физико-технического института (национального исследовательского университета), 2014. – Т. 6. – № 3(23). – С. 73-83.
14. Орлов А.И. Перспективные математические и инструментальные методы контроллинга: монография / А.И. Орлов, Е.В. Луценко, В.И. Лойко. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 600 с.
15. Рыночные трансформации: новые бизнес-модели, инновационные технологии, практика решений: монография / под ред. В.А. Сидорова, Я.С. Ядгарова, В.В. Чапля. – Лондон: Изд-во LSP, 2021. – 461 с.
16. Oprin S.G. Optimal risk management technology as a tool for ensuring the reliability of solutions made in the digital economy. St.Petersburg State Polytechnical University Journal, Economics, 2020, vol. 13, no 2, pp. 53-63, DOI 10.18721/JE.13205.
17. Иваньо Я.М. Оценка редких природных событий и совместного проявления экстремальных явлений в Иркутской области / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Материалы IV международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Победы в Великой Отечественной войне (1941-1945 гг.) и 100-летию со дня рождения А.А. Ежевского (27-29 мая 2015 года). – Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ, 2015. – Часть II. – С. 125-132.
18. Комплексное использование и охрана водных ресурсов / О.Л. Юшманов, В.В. Шабанов, И.Г. Галямина [и др.]; под ред. О.Л. Юшманова. – М.: Агроиздат, 1985. – 303 с.
19. Могилев А.В. Информатика: учеб. пособие для студ. пед. вузов. 2-е изд., стер / А.В. Могилев, Н.И. Пак, Е.К. Хеннер; под ред. Е.К. Хеннера. – М.: Изд. Центр «Академия», 2001. – 816 с.
20. Дружинин И.П. Динамика многолетних колебаний речного стока / И.П. Дружинин, В.Р. Смага, А.Н. Шевнин. – М.: Наука, 1991. – 176 с.

Иваньо Ярослав Михайлович. 1955 года рождения, образование высшее по специальности гидрология суши, полученной в Одесском гидрометеорологическом институте, д.т.н., профессор. Занимаемая должность: проректор по научной работе и цифровой трансформации, профессор кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского. AuthorID: 106394, SPIN-код: 9654-8057, ORCID: 0000-0003-4118-7185, iasa_econ@rambler.ru, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-он, п. Молодежный.

Петрова Софья Андреевна. 1987 года рождения, образование высшее по специальности Прикладная информатика (в экономике), полученной в Иркутской государственной сельскохозяйственной академии, к.т.н. Занимаемая должность: доцент кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского. AuthorID: 743695, SPIN-код: 7258-4269, ORCID: 0000-0001-9586-583X, sofia.registration@mail.ru, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-он, п. Молодежный.

Цыренжапова Валентина Вячеславовна. 1985 года рождения, образование высшее по специальности Экономика и управление на предприятии (в аграрном производстве), полученной в Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. Аспирант кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежовского. AuthorID: 711547, SPIN-код 9125-0300; ORCID 0000-0003-1834-27067, tsyrenzhapova_v@mail.ru, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-он, п. Молодежный.

UDC 519.876:519.855:631/635

DOI:10.38028/ESI.2022.26.2.004

Growth models with saturation in the problem of parametric programming as applied to agricultural production

Yaroslav M. Ivanyo, Sofia A. Petrova, Valentina V. Tsyrenzhapova

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,

Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, iasa_econ@rambler.ru

Abstract. The paper presents the results of applying growth models with saturation to solve prognostic problems and optimize the production of agricultural products based on parametric programming models. The problems of constructing asymptotic and logistic models for medium-term forecasting of agricultural production indicators were solved. The results of modeling by asymptotic and logistic models were compared; Parametric programming problems were created and applied using saturation growth models to optimize the production of agricultural products. At the same time, methods of mathematical modeling, forecasting, probability theory and mathematical statistics and parametric programming were used. As a result, multilevel asymptotic and logistic models are proposed for predicting the production and economic indicators of agricultural production using the example of grain crop yields. The upper level (peak trend) characterizes favorable conditions for the activity of an agricultural producer, and the lower level (trough trend) describes unfavorable situations for obtaining products. It is shown that growth models with saturation have an advantage in accuracy and significance relative to linear and non-linear trend models that are not limited by an upper bound. In addition, such models are less limited by the amount of data-dependent lead time. When comparing the asymptotic and logistic models, their advantages and disadvantages are highlighted. The developed mathematical models are implemented on real objects. A multilevel model of parametric programming using a logistic function to optimize the production of agricultural products is proposed. Forecasts of crop yields and optimal plans for production until 2024 for favorable, average and unfavorable situations are given. The proposed algorithm for obtaining optimal solutions is aimed at improving the management of agricultural production.

Keywords: asymptotic model, logistic model, parametric programming, forecasting, agricultural production

References

1. Barsukova M.N., Ivanyo Ya.M. Optimizatsionnyye modeli planirovaniya proizvodstva stabil'nykh sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy [Optimization models for planning the production of stable agricultural enterprises]. Irkutsk, Publ. IrGSHA, 2011, 159 p.
2. Braslavets M.Ye. Ekonomiko-matematicheskiye metody v organizatsii i planirovaniya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Economic and mathematical methods in the organization and planning of agricultural production]. M.: Economics, 1971, 358 p.
3. Gataulin A.M., Gavrikov G.V., Sorokina T.M. [et al.]. Matematicheskoye modelirovaniye ekonomicheskikh protsessov v sel'skom khozyaystve [Mathematical modeling of economic processes in agriculture]. Ed. Gataulin A.M., M.: Agropromizdat, 1990, 432 p.
4. Ivanyo Ya.M., Barsukova M.N., Petrova S.A. Ob odnoy modeli optimizatsii proizvodstva agrarnoy produktsii v blagopriyatnykh i neblagopriyatnykh vneshnikh usloviyakh [On one model of optimizing the production of agricultural products in favorable and unfavorable external conditions]. Information and mathematical technologies in science and management, 2020, no. 3 (19), pp. 73-85.

5. Tuneyev M.M., Sukhorukov V.F. Ekonomiko-matematicheskiye metody v organizatsii i planirovanii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: ucheb. posobiye dlya s.-kh. vuzov po ekon. spets. [Economic and mathematical methods in the organization and planning of agricultural production]. 2nd ed., M., Finance and statistics, 1986, 144 p.
6. Yudin D.B. Matematicheskiye metody upravleniya v usloviyakh nepolnoy informatsii: Zadachi i metody stokhasticheskogo programmirovaniya [Mathematical methods of control in conditions of incomplete information: Problems and methods of stochastic programming]. M., Lenand, 2017, 400 p.
7. Gorodovskaya ZH.I., Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Modeli optimizatsii sochetaniya otrasley agrarnogo proizvodstva s uchetom izmenchivosti trudovykh resursov [Optimization model of combining of agrarian branch of production taking into account variability of workforce]. Klimat, ekologiya, sel'skoye khozyaystvo Yevrazii: Sb. statey III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (27-29 maya 2014 g.) [Climate, ecology, agriculture of Eurasia: Sat. articles of the 3rd International Scientific-practical Conference (May 27-29, 2014)]. Irkutsk: IrGSKHA, 2014, part 2, pp. 23-30.
8. Ivanyo Ya.M., Petrova S.A., Barsukova M.N., Stolopova Yu.V. Zadacha parametricheskogo programmirovaniya s modelyami prognozirovaniya urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Parametric programming problem with crop yield forecasting models]. Prikladnaya informatika [Applied Informatics], 2021, vol. 16, no. 6 (96), pp. 131-143, DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-6-131-143.
9. Ivanyo Ya.M., Asalkhanov P.G., Barsukova M.N. [et al.] Matematicheskiye i tsifrovyye tekhnologii optimizatsii proizvodstva prodovol'stvennoy produktsii: monografiya [Mathematical and digital technologies for optimizing food production: monograph]. Ed. Ya.M. Ivanyo, Irkutsk, Publ. Irkutskogo GAU, 2021, 219 p.
10. Kardash V.A. Modeli upravleniya proizvodstvenno-ekonomicheskimi protsessami v sel'skom khozyaystve [Models of management of production-economic processes in agriculture]. M., Ekonomika, 1981, 183 p.
11. Kardash V.A. Ekonomika optimal'nogo pogodnogo riska v APK [Economics of optimal weather risk in the agro-industrial complex]. M., Agropromizdat, 1989, 167 p.
12. Shapkin A.S., Mazayeva N.P. Matematicheskiye metody i modeli issledovaniya operatsiy: ucheb. [Mathematical methods and models of operations research: textbook]. M., Dashkov and Co., 2004, 400 p.
13. Umnov E.A., Umnov A.E. Parametricheskiy analiz v zadachakh matematicheskogo programmirovaniya [Parametric analysis in problems of mathematical programming]. Trudy Moskovskogo fiziko-tekhnicheskogo instituta (natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta) [Proceedings of the Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)], 2014, vol. 6, no. 3(23), pp. 73-83.
14. Orlov A.I. Perspektivnyye matematicheskiye i instrumental'nyye metody kontrollinga: monografiya [Perspective mathematical and instrumental methods of controlling: monograph]. Krasnodar, KubGAU, 2015, 600 p.
15. Rynochnyye transformatsii: novyye biznes-modeli, innovatsionnyye tekhnologii, praktika reshenii: monografiya [Market transformations: new business models, innovative technologies, decision practice: Monograph]. Ed. Sidorov V.A., Yadgarov YA.S., Chaplya V.V., London, Publ. LSP, 2021, 461 p.
16. Oparin S.G. Optimal risk management technology as a tool for ensuring the reliability of solutions made in the digital economy. St.Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 2020, vol. 13, no 2, pp. 53-63, DOI 10.18721/JE.13205.
17. Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Otsenka redkikh prirodnykh sobytii i sovmestnogo proyavleniya ekstremal'nykh yavleniy v Irkutskoy oblasti [Assessment of rare natural events and joint of manifestation extreme events in the Irkutsk region]. Klimat, ekologiya, sel'skoye khozyaystvo Yevrazii: Materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 70-letiyu Pobedy v Velikoy Otechestvennoy voyne (1941-1945 gg.) i 100-letiyu so dnya rozhdeniya A.A. Yezhevskogo (27-29 maya 2015 goda) [Climate, ecology, agriculture of Eurasia: Proceedings of the 4th International Conference, dedicated to the 70th anniversary of the Victory in the Great Patriotic War (1941-1945) and the 100th anniversary of the birth of A.A. Yezhevsky (May 27-29, 2015)]. Irkutsk, Publ. Irkutskogo GAU, 2015, parth II, pp. 125-132.
18. Yushmanov O.L., Shabanov V.V., Galyamina I.G. [et al.] Kompleksnoye ispol'zovaniye i okhrana vodnykh resursov [Integrated use and protection of water resources]. Ed. Yushmanov O.L. M., Agromizdat, 1985, 303 p.
19. Mogilev A.V., Pak N.I., Khenner Ye.K. Informatika: ucheb. posobiye dlya stud. ped. vuzov. 2 izd., ster. [Informatics: Proc. allowance for students. ped. universities. - 2nd ed., erased]. Ed. Khenner Ye.K., M., Publ. center "Academy", 2001, 816 p.
20. Druzhinin I.P., Smaga V.R., Shevnin A.N. Dinamika mnogoletnikh kolebaniy rechnogo stoka [Dynamics of long-term fluctuations of river runoff]. M., Nauka, 1991, 176 p.

Ivanyo Yaroslav Mikhaylovich. Born in 1955, higher education in the specialty Hydrology of land, received at the Odessa Hydrometeorological Institute, Doctor of Technical Sciences, Professor. Position: Vice-Rector for Research and Digital Transformation, Professor of the

Department of informatics and mathematical modeling. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky. AuthorID: 106394, SPIN-код: 9654-8057, ORCID: 0000-0003-4118-7185, iasa_econ@rambler.ru, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny village.

Petrova Sofia Andreevna. *Born in 1987, higher education in the specialty Applied Informatics (in Economics), received at the Irkutsk State Agricultural Academy, Candidate of technical sciences. Position: Associate Professor of the Department of informatics and mathematical modeling. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky. AuthorID: 743695, SPIN-код: 7258-4269, ORCID: 0000-0001-9586-583X, sofia.registration@mail.ru, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny village.*

Tsyrenzhapova Valentina Vyacheslavovna. *Born in 1985, higher education in the specialty Economics and management at enterprise (in agricultural production), received at the Irkutsk State Agricultural Academy. Position: Graduate student of the Department of informatics and mathematical modeling. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky. AuthorID: 711547, SPIN-код 9125-0300; ORCID 0000-0003-1834-27067, tsyrenzhapova_v@mail.ru, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny village.*

Статья поступила в редакцию 09.05.2022; одобрена после рецензирования 23.05.2022; принята к публикации 03.06.2022.

The article was submitted 05/09/2022; approved after reviewing 05/23/2022; accepted for publication 06/03/2022.