

УДК 004.942

DOI: 10.47813/dnit.2021.2.30-39

Применение методов цифрового проектирования в аграрно-промышленном комплексе на примере прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур

В.Н. Петрушин¹, И.К. Джиева², М.Х. Эбердиева³, Г.О. Рытиков^{1,3}

¹ООО «Импакт Электроникс», г. Москва, Российская Федерация

²Юго-Осетинский государственный университет, г. Цхинвал, Республика Южная Осетия

³Государственный университет управления, г. Москва, Российская Федерация

E-mail: m_eeberdieva@guu.ru

Аннотация. Исследование посвящено разработке метода количественной оценки урожайности сельскохозяйственной культуры с продолжительным жизненным циклом (на примере яблоневого сада). Для достижения этой цели была выполнена оценка возможности прогнозирования урожайности яблоневого сада с помощью существующих техник и методов анализа данных; выявлены агротехнически значимые моменты времени в жизненном цикле яблоневого сада; сформирована прогностическая модель, одновременно удовлетворяющей биологическим и агротехническим ограничениям и обеспечивающую максимально доступный для рассматриваемой сельскохозяйственной культуры уровень достоверности результата прогноза урожайности. Показано, что кумулятивная урожайность яблоневого сада поддается прогнозированию гораздо лучше, чем динамика ежегодной урожайности. Как следствие, при стратегическом планировании в аграрно-промышленном комплексе имеет смысл ориентироваться на интегральные показатели результативности, нивелирующие отклонения, вызванные в той или иной степени случайными причинами.

Ключевые слова: количественная оценка, рациональное планирование, прогнозирование, анализ зависимостей, прогнозирование урожайности

Application of digital engineering methods in the agro-industrial complex on the example of crop productivity forecasting

V.N. Petrushin¹, I.K. Jioeva², M.H. Eyeberdiyeva³, G.O. Rytikov^{1,3}

¹Impact Electronics LLC, Moscow, Russian Federation

²South Ossetian State University, Tskhinval, Republic of South Ossetia

³State University of Management, Moscow, Russian Federation

E-mail: m_eeberdieva@guu.ru

Abstract. The research is dedicated to the development of a method for quantifying the productivity of an agricultural crop with a long lifespan (using the example of an apple orchard). To achieve this goal, the possibility of predicting the yield of an apple orchard was evaluated using existing techniques and methods of data analysis; agrotechnical significant time points in the life cycle of an apple orchard were identified; a prognostic model was formed that simultaneously satisfies biological and agrotechnical constraints and provides the maximum tier of reliability of the yielding forecast result available for the crop under consideration. It is shown that the cumulative yield of an apple orchard lends itself to forecasting much better than the dynamics of the annual yield. As a consequence, in strategic planning in the agricultural and industrial complex, it makes sense to focus on integral performance indicators that level out deviations caused to varying degrees by random causes.

Keywords: quantitative assessment, rational planning, forecasting, dependency analysis, yield forecasting

1. Введение

В условиях цифровизации экономики [1] на первый план выходит необходимость рационализации принятия стратегических решений в различных предметных областях [2]. В сельском хозяйстве ограниченность доступного объёма человеческих, энергетических, транспортных, финансовых и др. ресурсов [3] приводит к необходимости предварительного планирования работ на несколько лет вперёд, т.к. жизненные циклы многих агротехнических производств являются достаточно продолжительными [4]. Основой рационального планирования в агрономии является предварительное прогнозирование возможных вариантов динамики развития урожайности сельскохозяйственных культур [5-7], т.к. и потенциальный спрос, и себестоимость выращивания, и ожидаемый валовой объём производимого продукта являются важными параметрами задачи оптимального распределения доступных ресурсов. Данная работа посвящена обсуждению подходов и методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

2. Материалы и методы

Рассмотрим временной ряд фактических ежегодных урожайностей яблоневого сада, наблюдавшихся в исследованиях, представленных на таблице 1 [8, 9].

Таблица 1. Урожайность яблоневого сада по данным [8, 9].

Т, год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
У, ц/га	1,7	2,9	5,2	8,5	49,1	29,1	46,6	43,4	101,6	190
Т, год	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
У, ц/га	318,2	225,7	141,6	318,2	183,3	304,8	252,3	134	232,4	204,9

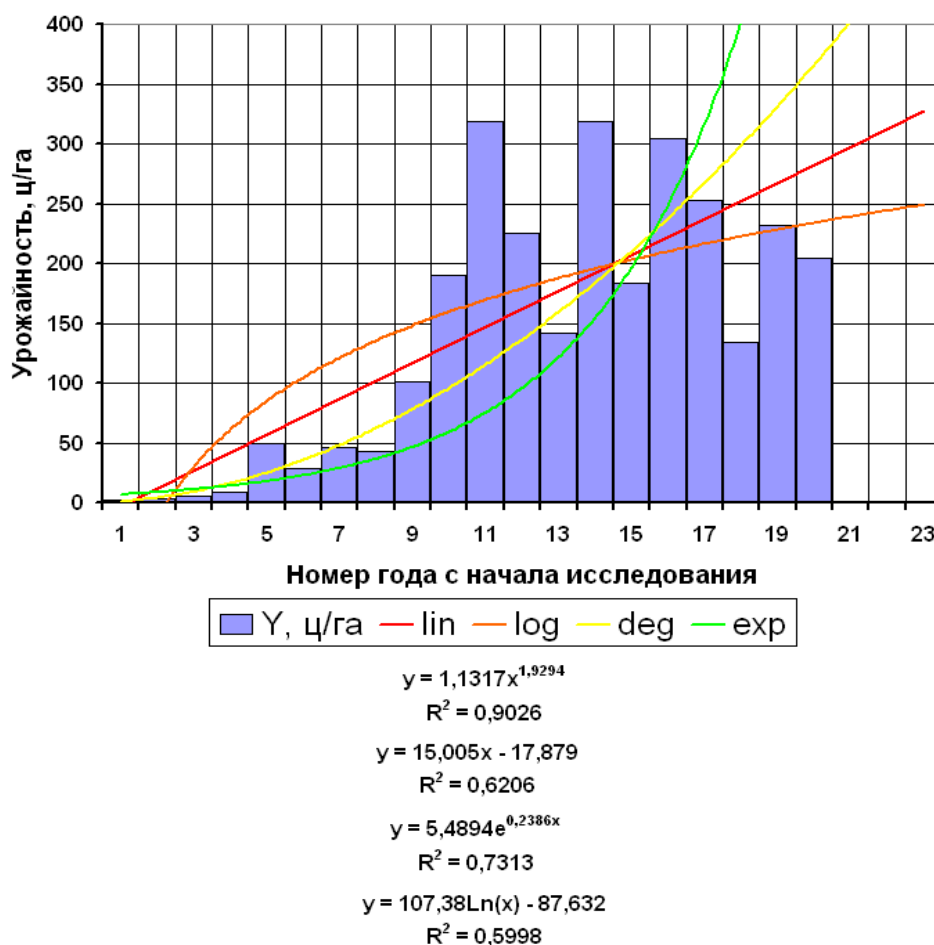


Рисунок 1. Аппроксимация результатов наблюдений с помощью стандартных трендов MS Excel.

Качество аппроксимации этих данных логарифмическим, линейным и экспоненциальным трендами не позволяет использовать соответствующие прогностические модели на практике, т.к. коэффициент детерминации не достигает минимального приемлемого уровня 0,8 [10]. Степенной тренд демонстрирует формально приемлемое качество аппроксимации (коэффициент детерминации ~ 0.9), однако достоверность соответствующего прогноза вызывает большие сомнения, т.к. обсуждаемый тренд в принципе не является ограниченным сверху, т.е. предполагает потенциально бесконечное увеличение урожайности, что противоречит биологическому здравому смыслу.

Совокупность полиномиальных трендов различных порядков также не демонстрируют необходимого уровня качества аппроксимации данных и прогнозируют разнонаправленную потенциальную динамику урожайности, причём полиномы высоких

порядков снова явно непригодны для прогнозирования, т.к. быстро нарастают со временем (кроме P3).

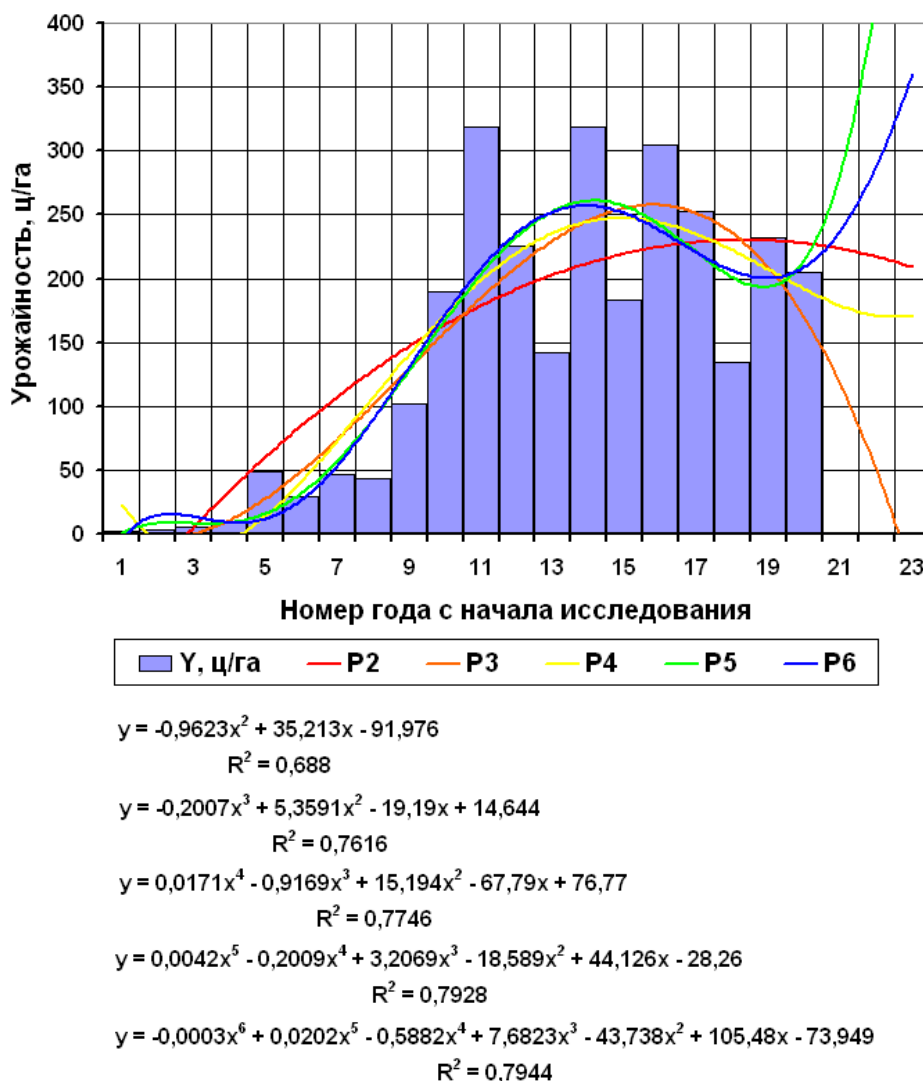


Рисунок 2. Аппроксимация результатов наблюдений в MS Excel с помощью стандартных полиномиальных трендов разных порядков.

Видно, что полиномиальные тренды высоких порядков дают близкие оценочные значения урожайностей на 4м, 5м, 10м, 15м и 19м годах наблюдений. Также на 15м году наблюдения одинаковые между собой значения дают и стандартные тренды MS Excel.

С помощью корреляционных методов можно оценить наиболее вероятный период гармонической функции, описывающей урожайность рассматриваемого сада [11]. Для этого необходимо построить гистограмму зависимости коэффициента автокорреляции рассматриваемого временного ряда от временного лага – сдвига по оси времени на один шаг (в данном случае – год). Первое достижение коэффициентом автокорреляции нулевого значения будет соответствовать приблизительно четверти периода

гармонической функции (синуса или косинуса). Коэффициенты корреляции были найдены с помощью команды КОРРЕЛ() в табличном процессоре MS Excel.

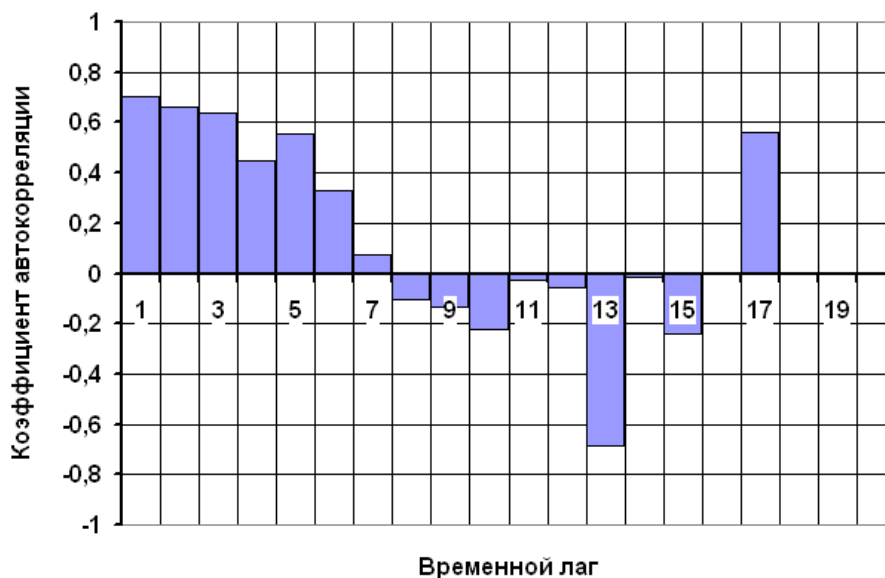


Рисунок 1. Гистограмма зависимости коэффициента автокорреляции первого порядка от временного лага.

В рассматриваемом случае период получается примерно 25-30 лет, вследствие чего вероятность достоверности прогнозирования с помощью полиномиального тренда РЗ, убывающего к этому моменту времени, возрастает. Однако непосредственное использование периодического тренда для прогнозирования динамики урожайности нецелесообразно потому, что яблоневые сады со временем самостоятельно не возрождаются.

Для анализа зависимостей указанного типа удобнее оказывается применять кумулятивное прогнозирование, предполагающее прогноз общей урожайности, которой удастся достигнуть за всё время существования сада.

Таблица 1. Кумулятивная урожайность яблоневого сада.

Т, год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
У, ц/га	1,7	4,6	9,8	18,3	67,4	96,5	143,1	186,5	288,1	478,1
Т, год	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
У, ц/га	796,3	1022	1163,6	1481,8	1665,1	1969,9	222,2	2356,2	2588,6	2793,5

В качестве опорного класса аппроксимирующих кумулятивную урожайности математических моделей были выбраны функции вида:

$$Y = A \cdot \sqrt[1 + (T/T_0)^N]{1 - \frac{1}{1 + (T/T_0)^N}} \quad (1)$$

в которых A – полная ожидаемая кумулятивная урожайность сада за всё время его существования; T_0 – наиболее вероятная продолжительность существования сада, обеспечивающая получение кумулятивной урожайности в $\sqrt{2}$ раз меньшей полной ожидаемой; N – натурально численный параметр $N \in \{6;7;8;9\}$, определяющий форму аппроксимирующей кривой.

Для всех этих моделей были построены соответствующие графики и было оценено качество аппроксимации кумулятивных данных. Все коэффициенты детерминации оказались больше 0,93.

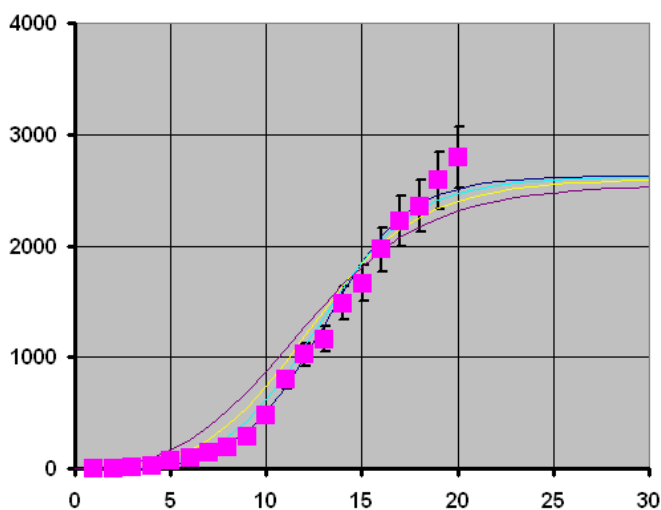


Рисунок 4. Прогноз динамики кумулятивной урожайности в предположении о фундаментальной агротехнологической значимости временного интервала в 15 лет.

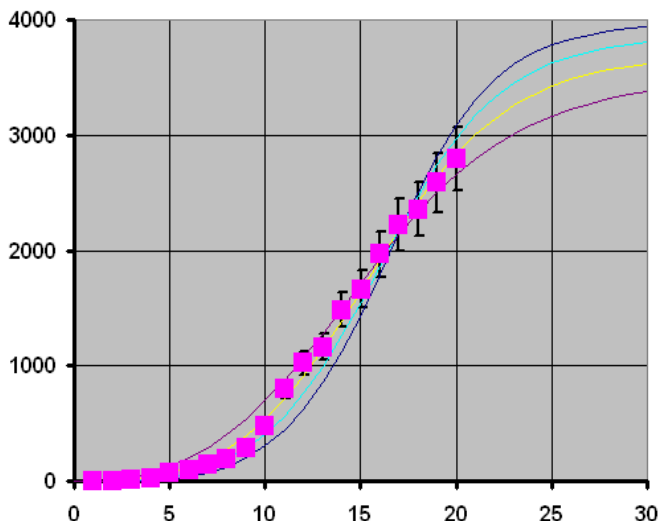


Рисунок 5. Прогноз динамики кумулятивной урожайности в предположении о фундаментальной агротехнологической значимости временного интервала в 19 лет.

Разности соседних значений рассчитанной по модели кумулятивной урожайности дают прогноз динамики обычной урожайности, представленный на следующем рисунке.



Рисунок 6. Гистограмма динамики урожайности яблоневого сада по данным наблюдений специалистами [8,9] и по результатам расчетов разностей соседних значений функции кумулятивной урожайности.

3. Результаты и обсуждение

Полученный в итоге применения предложенного подхода прогноз динамики урожайности яблонь обладает значением коэффициента детерминации 0.75, однако при прогнозировании кумулятивной урожайности даёт наилучшее значение качества аппроксимации из всех рассмотренных моделей ($R^2 \cong 0.99$). При этом соответствующая функция кумулятивной урожайности является заведомо ограниченной и обладает ограниченной областью допустимых значений аргумента, что хорошо соответствует агротехническому смыслу решаемой задачи.

Стандартные математико-статистические техники прогнозирования динамики значений уровней временных рядов [12] не всегда применимы к описанию

биологических и/или агротехнических данных, как в силу естественной высокой изменчивости этих данных, так и вследствие принципиальных смысловых ограничений на область допустимых значений аргументов и области определений аппроксимирующих функций.

В данной работе предложен подход к прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур и описана техника его применения на примере прогнозирования урожайности яблоневого сада. На основании анализа данных, полученных в результате наблюдений специалистов [8,9], установлены агротехнически значимые моменты времени жизненного цикла объекта исследования и построены модели прогнозирования кумулятивной и обычной урожайности.

Чтобы установить границы применимости и усовершенствовать технику использования обсуждаемого подхода, в дальнейшем необходимо будет применить его для прогнозирования урожайностей каких-нибудь других сельскохозяйственных культур. Также в перспективе будут рассмотрены другие математические прогностические модели, обладающие соответствующими агротехнологическому смыслу решаемых задач ограничениями на область определения функций и область допустимых значений аргументов.

4. Выводы

Не всегда возможно качественное прямое прогнозирование тех или иных агротехнических показателей. В таких случаях надо искать другие показатели и другие методы, т.к. в противном случае рационализация принятия управленческих решений в биологии и агротехнике будет невозможной. В данной работе представлен подход и описана техника применения этого подхода к количественному оцениванию динамики урожайности яблонь через расчёт и прогнозирование кумулятивной урожайности сада. Представленный подход учитывает принципиальную ограниченность потенциально возможных значений урожайности и продолжительности агротехнически значимого существования сельскохозяйственных культур.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 21-510-07004.

Список литературы

1. Халин, В.Г., Чернова, Г.В. Цифровизация и ее влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски / В.Г. Халин, Г.В. Чернова // Управленческое консультирование. – 2018. – №10(118). – С.46-63.
2. Алборов, Р.А. Предпосылки и моделирование развития управленческого учета в сельском хозяйстве / Р.А. Алборов, С.М. Концевая, С.В. Козменкова // Международный бухгалтерский учет. – 2015. – №15(357). – С.37-51.
3. Самыгин, Д.Ю. Модели прогнозирования стратегического развития сельского хозяйства / Д.Ю. Самыгин, Н.Г. Барышников // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2015. – №1(13). – С.81-86.
4. Полулях, Ю.Г., Моделирование обеспечения воспроизводства в отраслях сельского хозяйства на технологической основе / Ю.Г. Полулях, Л.Ю. Ададимова, А.С. Кожевников, И.В. Твердова // Научное обозрение: теория и практика. – 2017. – №2. – С.83-92.
5. Савин, И.Ю. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы / И.Ю. Савин, С.А. Барталев, Е.А. Лупян, В.А. Толпин, С.А. Хвостиков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – 7. – №3. – С.275-285.
6. Сидоренко, О.В. Прогнозирование урожайности зерновых культур в орловской области / О.В. Сидоренко, Т.И. Гуляева // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2010. – №6(27). – С.64-68.
7. Золотарева, Е.Л. Прогнозирование параметров производственных затрат и объемов производства продукции сельского хозяйства / Е.Л. Золотарева, И.Я. Пигорев, А.А. Золотарев, Р.В. Бабенко, И.А. Судженко // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – №6. – С.25-27.
8. Чирков, Ю.Н., Петрушин, В.Н. // Метеорология и гидрология. – 1987. – №8. – С.103.
9. Петрушин, В.Н., Чирков, Ю.Н. // Метеорология и гидрология. – 1988. – №5. – С.107.
10. Зубарева, В.Е., Особенности применения MS Excel при прогнозировании социально-экономических временных рядов / В.Е. Зубарева, В.Н. Петрушин, Г.О. Рытиков // В сборнике: Развитие экономики и менеджмента в современном мире. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – 2015. – С.134-137.

11. Петрушин, В.Н. Выявление периодичности и прогнозирование временных рядов в экономике / В.Н. Петрушин, С.А. Дроздов, Г.О. Рытиков // Cloud of Science. – 2015. – 2. – №2. – С.247-264.
12. Петрушин, В.Н. Моделирование жизненного цикла книжной продукции / В.Н. Петрушин, Г.О. Рытиков, Д.А. Королев // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – 2014. – №2. – С.160-167.