

УДК 330.42

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ОГИБАЮЩЕЙ КРИВОЙ

Батова Т.Н., Сизова Т.М.

*Университет ИТМО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Санкт-Петербург,
e-mail: battat888@gmail.com, sizova_tamara@mail.ru*

Одним из методов технологического прогнозирования является метод огибающих кривых. Преимущество этого метода состоит в том, что он учитывает как эволюционное, так и революционное развитие технических систем за счет объединения частных тенденций эволюционного развития в единую общую тенденцию. Статья посвящена вопросам прогнозирования развития научно-технических систем на примере оптических телескопов. На основе анализа исторического развития технических характеристик оптических телескопов сделан прогноз их дальнейшего развития до 2050 года. В качестве метода прогнозирования использовалось прогнозирование по огибающей кривой. В данном случае под огибающей кривой понимается наиболее гладкая из возможных кривых, касающаяся всех или большинства кривых отдельных этапов развития оптических телескопов, от некоторых находящихся на небольшом расстоянии, а некоторые пересекающая. Полученная зависимость имеет экспоненциальную форму. Выполненное исследование показало, что прогнозирование по огибающей кривой является методом, наиболее полно отражающим смену технологий, то есть эволюционные участки и революционные скачки развития технических систем. Такие прогнозы могут также позволить производить раннее распознавание перспективной технологии в результате обратного влияния технологического прогноза на развитие технических систем.

Ключевые слова: технологическое прогнозирование, S-образная кривая, оптический телескоп, метод огибающих кривых

TECHNOLOGICAL FORECASTING ON THE BASIS OF THE ENVELOPE CURVE

Batova T.N., Sizova T.M.

*ITMO University «St. Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics»,
St. Petersburg, e-mail: battat888@gmail.com, sizova_tamara@mail.ru*

One of the methods of technological prediction is the envelope curve method. The main advantage of this method is taking into consideration both evolutionary development and revolutionary development of optical telescope characteristics on account of combining local evolutionary development trends into one overall trend. This paper presents application of scientific and technical predictive modeling. As example we use optical telescopes. Scientific forecast of optical telescope characteristics through 2050 is based on history analysis of optical telescope characteristics. We use envelope curve as the main tool of this method. In this case as envelope curve we assume most smooth curve of possible that related to all or most of the individual optical telescopes development curves, some located at short range and some overlap. Resulting dependence has exponential shape. Performed research shows that using envelope curve as method of technical predictive modeling and scientific forecasting is an excellent way of forecasting. It most completely takes into consideration both evolutionary development and revolutionary development of technical systems. Such scientific forecasts can be the reason of early recognition of next-generation technologies as the result of reverse influence of technological forecast on development of technical systems.

Keywords: technological forecasting, S-shaped curve, optical telescope, envelope curve

Прогрессивное развитие общества и стабильность экономики во многом зависят от развития науки. Технология представляет собой практическое применение научно-технической продукции. Любое мероприятие или проект основываются на некоторой технологии или предполагают появление превосходящей современной практический уровень технологии, которая ожидается, но еще недоступна. В связи с этим в настоящий момент возрастает значение технологического прогнозирования. При разработке долгосрочных технико-экономических прогнозов любого уровня неизбежно возникает задача прогнозирования развития определенных классов аппаратуры и соответствующих технологий. Можно сказать, что именно технологическое про-

гнозирование помогает идентифицировать возможные характеристики будущих изделий, применяется для принятия обоснованных решений при выборе производственных процессов, становится непременным условием инновационного развития.

Технологическое прогнозирование связано с большими сложностями. В экономические прогнозы его часто приходится включать в качестве составной части. К сожалению, не так много работ, посвященных прогнозированию технологического развития [1–4]. Одним из методов технологического прогнозирования является экстраполяция по огибающей кривой. Преимущество этого метода состоит в том, что он учитывает как эволюционное, так и революционное развитие технических

систем за счет объединения частных тенденций эволюционного развития в единую общую тенденцию. Прогнозирование на основе огибающих кривых было предложено Р. Эйресом, писавшим по этому поводу: «...анализ прошлых состояний системы может дать хорошую модель для ее будущего состояния, то есть система моделирует сама себя. Таким образом, когда мы экстраполируем огибающие кривые по наиболее характерным текущим значениям параметров системы, мы автоматически учитываем непрерывность усовершенствований и изобретений...» [2, 4].

Экстраполяция по огибающей кривой осуществляется на основе общей тенденции, построенной в результате графоаналитического анализа. Преимущество этого метода состоит в том, что он учитывает как эволюционное, так и революционное развитие технических систем за счет объединения частных тенденций эволюционного развития в единую общую тенденцию. Это позволяет предвидеть наступление скачков смены технологий и определять наиболее вероятные сроки перехода к новым видам продукции, а также определять, в какой именно фазе развития на данный момент находится конкретная технология.

Огибающая кривая получается при сглаживании ломаной линии, составленной из касательных к точкам семейства кривых [5]. В частном случае огибающую можно определить как кривую, в каждой своей точке имеющую общую касательную к одной из семейства кривых. Однако дать строгое определение огибающей невозможно и также невозможно ее однозначно провести. В настоящее время известна постановка задачи построения огибающей к семейству кривых в приближенном варианте, как это определено для экстраполяции динамических рядов (метод наименьших квадратов).

Точность прогнозирования методом огибающих кривых зависит от правильности выбора основного параметра (технически значимого результата), комплексно характеризующего развитие всей технической системы. Поэтому в первую очередь выбирается количественный параметр (Р), в полной мере характеризующий развитие системы. Если данный параметр выбран неправильно, то прогнозирование не будет иметь смысла. Развитие технических систем носит эволюционно-революционный характер, то есть развитие идет по пути количественного улучшения какого-либо параметра, пока не сталкивается с ограничением. Таким ограничением может быть разумный габаритный размер системы или

технологический максимум точности изготовления деталей на данном временном этапе. В любом случае при приближении к этому уровню насыщения происходит революционный скачок, который дает начало увеличению количественного параметра в рамках новой технологии.

Графически развитие технических систем можно представить в виде сменяющихся друг друга кривых (обычно S-образных кривых). Каждая из кривых обладает тремя участками: на начальном этапе рост основного параметра происходит медленно, так как революционно-новая технология недостаточно разработана; потом идет участок, характеризующий резкое увеличение темпов роста основного параметра (близко к экспоненте); наконец, на третьем этапе наблюдается замедление темпов роста при приближении к разумному максимуму наращиваемого параметра [1, 6]. Следует отметить, что уровень насыщения, который препятствует росту в рамках конкретной технологии, очень сложно установить – часто он может быть определен только с помощью фундаментальных исследований, нацеленных на решение этой проблемы. Существует множество видов пределов развития для технических систем: физические, технические, экономические, юридические. При появлении новой революционной технологии не происходит полный мгновенный переход на эту технологию. Старая технология продолжает развиваться с сильным угасанием интенсивности роста основного параметра ввиду инерции интересов. Как отмечает Г.С. Альтшуллер, «возникает инерция интересов: финансовых, научных (псевдонаучных), карьеристских и просто человеческих (боязнь оставить привычную систему). При этом экономические факторы приспособляются к инерции интересов: система продолжает оставаться экономически выгодной за счет разрушения, загрязнения и химической эксплуатации внешней среды» [1].

Таким образом, в один период времени существуют две кривые развития: угасающая и развивающаяся. Также стоит отметить, что технические системы с революционной технологией на первом этапе отстают от систем, принадлежащих предыдущей технологии. Однако в дальнейшем это компенсируется в результате количественного роста технически значимого результата (основного параметра), поскольку для новой технологии ограничения возникнут на более высоком уровне. Характерный вид S-образных кривых развития и смены технологий представлен на рис. 1.

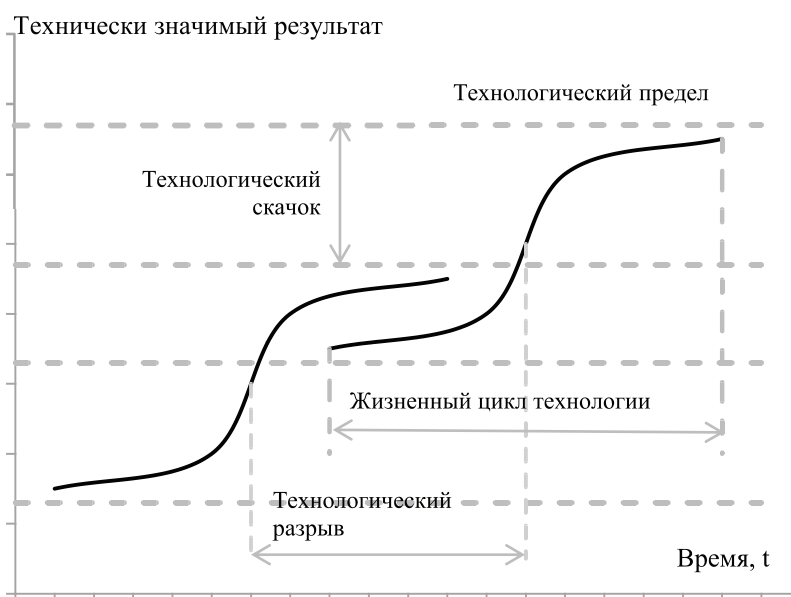


Рис. 1. Характерный вид кривых развития технических систем и смены технологий

Этапы развития оптических телескопов

Этап	Временной промежуток, годы	Вид оптической схемы	Изменяемый количественный параметр
I	1609–1686	Рефрактор	Диаметр, фокусное расстояние
II	1668–1800	Рефлектор	Диаметр
III	1747–1897	Рефрактор с использованием стекла различных марок	Диаметр
IV	1880–1948/1975	Рефлектор с использованием стеклянных зеркал	Диаметр
V	1979–2018	Рефлектор с адаптивной оптикой	Диаметр каждого элемента, количество элементов, точность компьютерных вычислений и приводов

В данной статье прогнозируется развитие оптических систем на примере оптических телескопов до 2050 г. Отдельно следует отметить, что в статье кривые развития оптических телескопов аппроксимируются линейными участками, так как они, по мнению авторов, являются достаточно информативными в условиях недостатка информации о прошлых этапах развития оптических телескопов. Данные, выявленные в результате изучения истории развития оптических телескопов, представлены в таблице.

Таким образом, можно считать, что на данный момент было произведено пять революционных скачков в развитии оптических телескопов. На каждом этапе про-

изошла принципиальная смена технологий (переход от рефрактора к рефлектору и обратно с появлением новых технологий) и происходило увеличение диаметра оптических элементов, которое неизбежно сталкивалось с ограничениями. На первом этапе не знали о возможности комбинации оптического стекла разных коэффициентов преломления, поэтому длина такого оптического телескопа доходила до десятков метров; сложность монтажа и юстировки такого оптического телескопа ввела его в ограничения увеличения диаметра. На втором этапе длину удалось сократить за счет использования зеркал в оптической схеме; крупнейшее зеркало той эпохи имело диаметр 126 см, дальнейшее наращивание параметра также

было затруднено технически; кроме того, в то время уже начали появляться оптические телескопы с комбинированием стекол различных марок. Более подробно история развития оптических телескопов описана в [7].

При прогнозировании развития оптических телескопов главная проблема, как было отмечено выше, заключается в выборе основного параметра, по которому будет производиться прогноз. С одной стороны, можно использовать параметр «проницающая способность», то есть предельная звездная величина, которую может зарегистрировать оптический телескоп при данном методе наблюдения. Этот параметр варьируется в пределе от 6^m (для глаза) до 30^m (для современных оптических телескопов). Однако объект необходимо видеть ясно и без искажений. Для этого можно использовать параметр «разрешающая способность», то есть способность давать отдельные изображения двух близких друг к другу точек объекта. Этот параметр может изменяться в пределах: 1 минута – 0,1 секунды для невооруженного глаза и современного оптического телескопа соответственно. Для большей наглядности на рис. 2 приведена иллюстрация возможностей оптических телескопов: современного и одного из лучших оптических телескопов 1879 года [8].

Отсюда можно сделать вывод, что недостаточно просто видеть объект (проницающая способность), также необходимо различать его детали (разрешающая способность). Поэтому предлагается для прогноза использовать некий интегральный параметр P , учитывающий и проницающую способность, и разрешающую способность (угловое разрешение). Данный параметр рассчитывается на основе экспертной оцен-

ки, точкой отсчета является начало I этапа. В этой точке параметр P принимается равным 5,5. На I этапе P изменяется в пределах 5,5–8, на II этапе в пределах 6,5–11, на III этапе в пределах 8–14, на IV этапе в пределах 12–22, на V этапе в пределах 17–29.

Как уже было отмечено, ввиду недостатка исходной информации и малой информативности нелинейных участков кривых каждого из этапов, аппроксимация производится линейными отрезками (чтобы построить достоверную S-образную кривую, надо иметь как минимум три опорные точки на каждом из этапов). Полученное графическое представление отмеченных этапов, а также огибающая кривая представлены на рис. 2. В данном случае под огибающей кривой понимается наиболее гладкая из возможных кривых, касающаяся всех или большинства кривых отдельных этапов развития оптических телескопов, от некоторых находящихся на небольшом расстоянии, а некоторые пересекающая. Аналитически данная зависимость может быть записана в виде следующей формулы:

$$P(t) = 10^{-6} \cdot 2^{0,016(t-485)} + 7,5.$$

Данное уравнение было рассчитано на основе нескольких итераций корректировки коэффициентов уравнения, полученных с использованием математического пакета MathCAD. Полученная зависимость имеет экспоненциальную форму [9]. Для других технических систем могут иметь место другие зависимости: квадратичные, логистические, линейные, логарифмические. Это определяется спецификой технической системы и выбирается непосредственно в процессе составления прогноза.

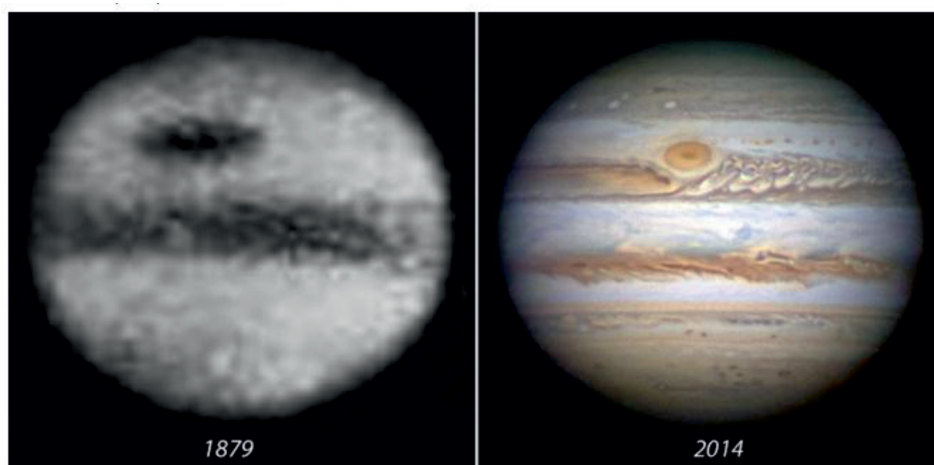


Рис. 2. Как видели Юпитер в прошлом и сейчас

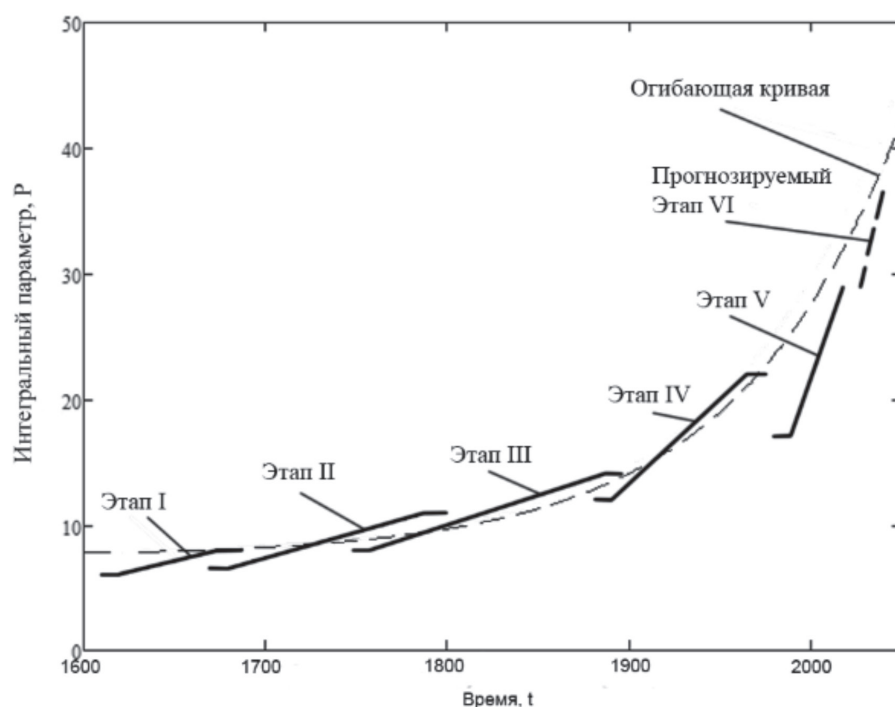


Рис. 3. Огибающая кривая для прогнозирования развития оптических телескопов

На основании данного исследования можно сделать следующие выводы:

- При прогнозировании на основе огибающей кривой целесообразно использовать интегральный параметр, отражающий в большей степени функциональные характеристики технической системы в целом, а не конкретные технические показатели.

- Интегральный параметр (макропараметр, представляющий несколько компонент) имеет более стабильный рост, чем отдельные технические показатели в рамках конкретной технологии.

- Экстраполяция по огибающей кривой позволяет установить, что к 2050 г. интегральный параметр, характеризующий развитие оптических телескопов, достигнет величины 42.

- При раскрытии значения прогнозируемого интегрального параметра $P = 42$ можно ожидать различные комбинации проникающей способности и разрешающей способности. Одним из таких вариантов являются ожидаемые значения проникающей способности равной 34^m и углового разрешения равного $0,005$ угловых секунд.

- В процессе развития оптических телескопов до 2050 г. вероятно революционное изменение технологий, то есть появление новой технологии (на рис. 3 изображен прогнозируемый VI этап).

Полученные выводы, как и любой прогноз, носят вероятностный характер. Также на точность прогноза может повлиять тот факт, что начальное значение интегрального параметра выбрано на основе экспертной оценки, которая в любом случае несет субъективность восприятия.

При этом выполненное исследование показало, что прогнозирование по огибающей кривой является методом, наиболее полно отражающим смену технологий, то есть эволюционные участки и революционные скачки развития технических систем. К точности таких прогнозов ниже требования, так как больше период упреждения и более обобщенные параметры прогнозируются, чем при экстраполяции временных рядов.

Большое научное значение имеет прогнозирование появления новой технологии, поскольку можно предположить, что это приведет к обратному воздействию самого технологического прогнозирования на развитие оптических телескопов и будет способствовать раннему распознаванию новой перспективной технологии.

С практической точки зрения большой интерес, на наш взгляд, представляет определение стадии развития существующей технологии (то есть определение, в какой точке S-образной кривой развития находится существующая система) и предска-

зание, насколько близок переход к новой технологии.

Список литературы

1. Альтшуллер Г.С. О прогнозировании развития технических систем // Официальный фонд Г.С. Альтшуллера. URL: <http://www.altshuller.ru/triz/zrts3.asp>.
2. Эйрес Р. Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование. Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 295 с.
3. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. Пер. с англ., изд. 2-е. – М.: Прогресс, 1974. – 586 с.
4. Ayers R.U. On Technological Forecasting. Report HJ – 484 – DF. Hudson Institute.
5. Бабич Т.Н., Козьева И.А., Вертакова Ю.В. Прогнозирование и планирование в условиях рынка. – М.: ИНФРА – М, 2012. – 336 с.
6. Карамышев С.В. Куда выведет S-кривая? URL: <http://www.metodolog.ru/01493/01493.html>.
7. Сергеев А.Н. Телескопы: от стекол к лазерам // Вокруг света. – 2009. – № 10. URL: <http://www.vokrugsveta.ru/vs/article/6782/5>.
8. Jupiter: grandeur et décadence de la Grande Tache rouge. URL: <http://www.futura-sciences.com/magazines/espace/infos/actu/d/astronomie-jupiter-grandeur-decadence-grande-tache-rouge-52161>.
9. Batova T.N., Trifonov K.V. Modeling of optical telescope development by envelope curve // European journal of natural history. – 2016. – № 2. – P. 70–71.