

# ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Прогнозирование событий, и в частности, последствий разработки полезных ископаемых, — чрезвычайно сложное дело из-за взаимосвязанности процессов в биосфере. Поэтому очень важен вопрос выбора метода прогнозирования в каждом конкретном случае.

Временные интервалы прогнозов могут изменяться в широких пределах — от часов до многих лет, в зависимости от содержания задачи.

Одни зависят от цикличности воздействий в системе и должны быть достаточно велики, чтобы обеспечивалась возможность сознательного влияния на ожидаемые изменения в экосистеме.

Если процесс цикличен (например, сезонное производство), то прогноз составляется на период не меньший, чем продолжительность цикла.

Если прогнозируемый процесс имеет тенденцию роста в течение длительного времени, то прогноз должен рассчитываться на такой промежуток времени, за который можно осуществить мероприятия по сохранению экологического равновесия окружающей среды, по наращиванию мощностей и приобретению необходимых материалов и оборудования.

Особенностью прогностических моделей служит невозможность прямой проверки соответствия модели и оригинала. В этом специфика и вместе с тем проблема моделирования будущего.

Более всего распространены в прогностических моделях графические изображения (так называемые «кривые роста») и математические описания. При отсутствии теоретических предпосылок о поведении объекта исследований в будущем используют методы аналогий и математической обработки опытных данных, характеризующих прошлое и настоящее.

Однако не следует забывать, что эмпирическая формула справедлива лишь для интервала опытных значений и экстраполяция связана с погрешностью тем большей, чем дальше стремимся распространить зависимость за пределы проведенных исследований.

С целью повышения достоверности прогноза следует предусмотреть его определение несколькими методами. Это дает хороший результат.

В основе составления и анализа прогноза лежат различные методы:

усреднение данных наблюдений в прошлом и настоящем с последующей экстраполяцией полученных зависимостей в будущее;

корреляционный и регрессионный анализы;

математическое программирование в задачах распределения ресурсов;

имитационное моделирование;

теория игр и статистических решений;

анализ случайных функций;

экспертные оценки и аналогии в задачах прогнозирования.

Следует отметить характерную ошибку в прогнозах, когда на основании постоянной скорости роста в прошлом предполагают ту же скорость процесса в будущем.

Такой подход в прогнозировании называется «наивным» в том смысле, что все происходившее в прошлом и сформировавшаяся тенденция в настоящем будут иметь место и в будущем.

В двух случаях «наивная экстраполяция» неприменима:

при наличии естественного предела (истощение ресурсов и др.) и при изменении факторов, обуславливающих тенденцию в прошлом (темпы осушения, воздействие на окружающую среду и др.). Достаточно часто в прогнозах используется экспоненциальный рост, вызванный бурным развитием техники и технологии.

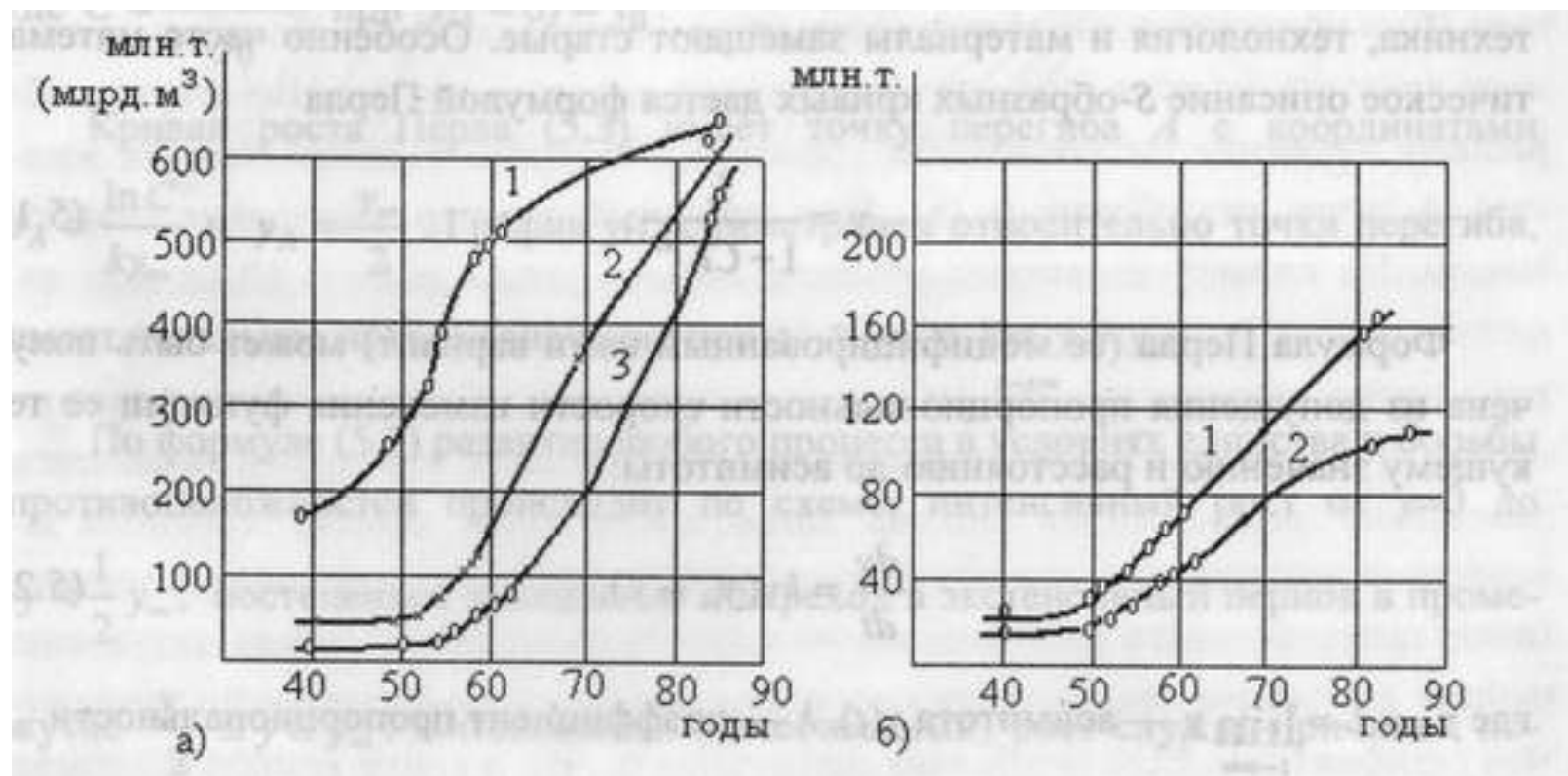
Экстраполяция процесса в будущее в виде экспоненциальной функции (пропорциональность скорости роста текущему ; значению функции) в ряде случаев дает заведомо неверный результат.

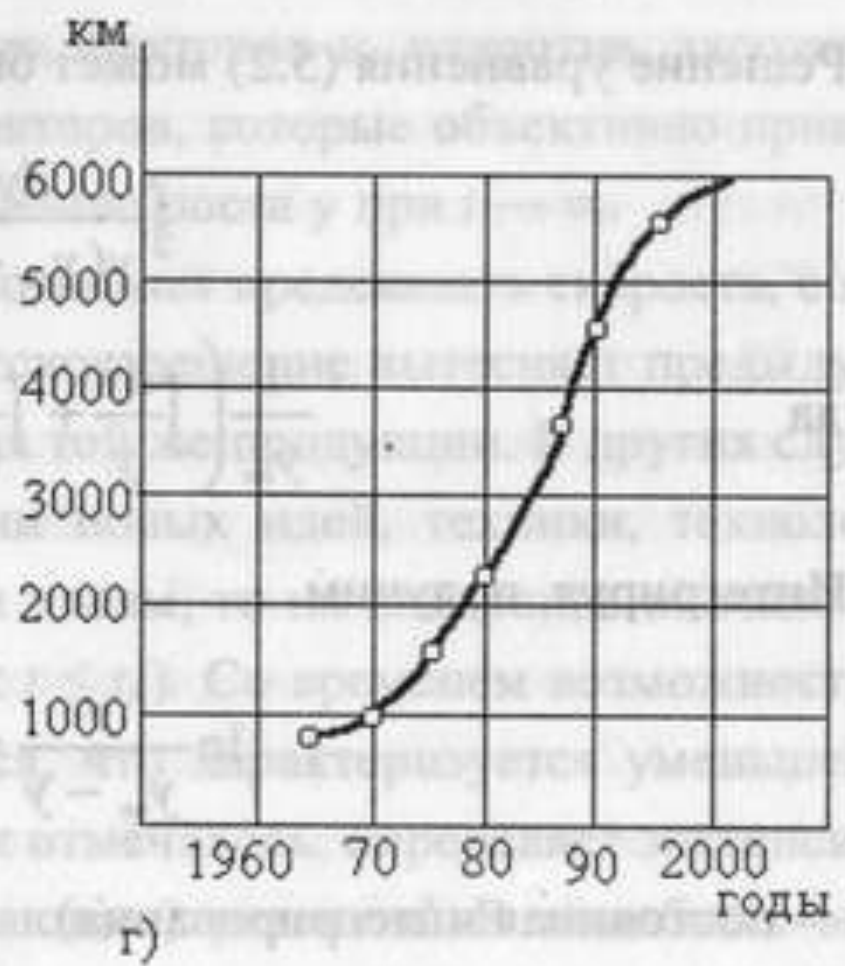
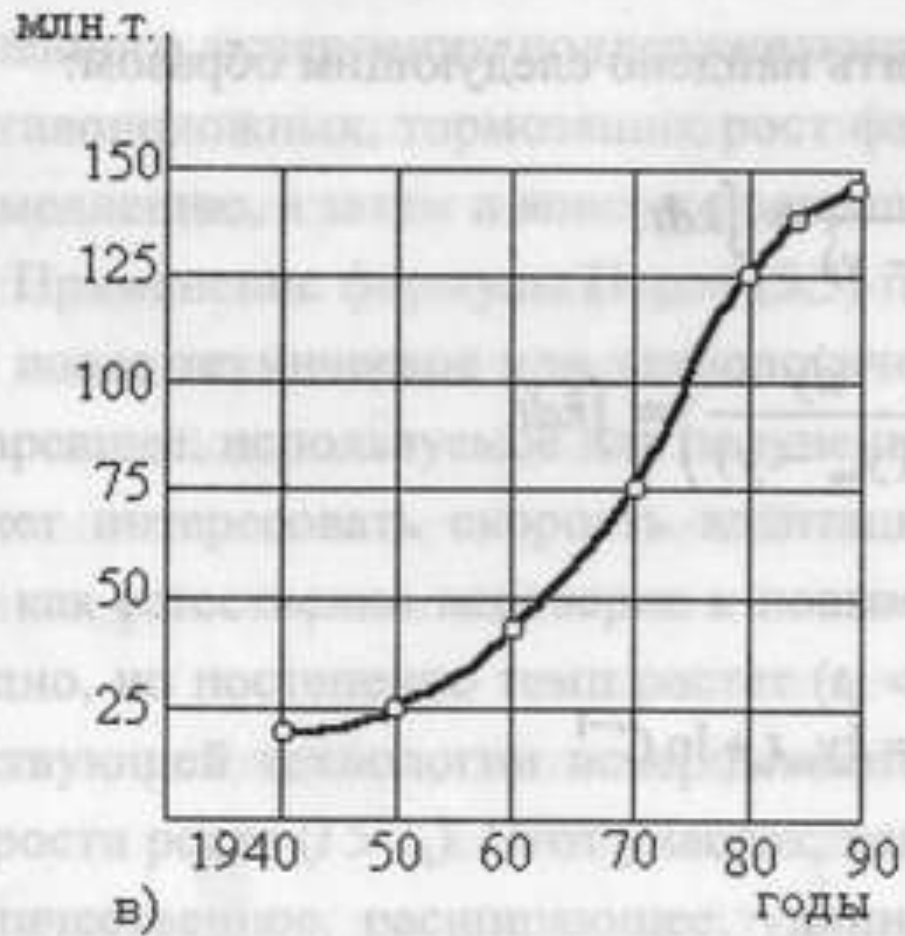
Одна из важнейших задач прогнозирования заключается в предсказании скорости, с которой новое решение, идея, технология и техника будут вытеснять предыдущие, используемые для получения тех же функциональных характеристик.

Анализ статистических наблюдений из самых различных областей естествознания, техники и технологии показал, что изменение эффективности во времени характеризуется S-образными кривыми.

Данному типу зависимостей подчиняется изменение эффективности тепловых электростанций, КПД паровых двигателей в течение всего периода развития.

Подобные типы кривых описывают рост по годам в мире производства минеральных удобрений, стали, чугуна, добычи угля, нефти, газа (рис.), протекание химических реакций в замкнутой системе с ограниченным количеством реактивов, ползучесть глин, мерзлых фунтов и ряда других материалов, изменение напряжений вдавливания в фунт и многие другие процессы в самых различных областях науки, техники и технологии.





Добыча (а) основных видов топлива (уголь — 1, нефть — 2, газ — 3); производство (б) стали (1) и чугуна (2) в СССР; производство минеральных удобрений в мире (в); протяженность газопровода в Беларуси (г)

Анализ статистических наблюдений показал (Дж. Мартино), что диаграммы замещения одной техники или технологии другой представляют собой S-образные кривые. Определенный период времени, до тех пор пока новейшая техника не доказала своей экономичности и надежности, идет параллельное (экстенсивное) развитие старой техники.

Этого типа поведения следует ожидать в любой ситуации, где новые идеи, техника, технология и материалы замещают старые.

Особенно часто математическое описание S-образных кривых дается формулой Перла

$$y = \frac{L}{1 + C1^{-kt}}$$

Формула Перла (ее модифицированный нами вариант) может быть получена из допущения пропорциональности скорости изменения функции ее текущему значению и расстоянию до асимптоты:

$$\frac{dy}{dt} = ky(y_{\infty} - y),$$

Где  $y_{\infty} = L = \lim_{t \rightarrow \infty} y$  — асимптота  $y(t)$ ,  $k$  — коэффициент пропорциональности.



Решение уравнения может быть найдено следующим образом:

$$\int \frac{dy}{y(y_{\infty} - y)} = \int k dt,$$

$$\frac{1}{y_{\infty}} \left( \int \frac{dy}{y} + \int \frac{dy}{(y_{\infty} - y)} \right) = \int k dt.$$

Интегрируя, получим

$$\ln \frac{y}{y_{\infty} - y} = ky_{\infty} t + \ln C^{-1}$$

$C^{-1}$

— постоянная интегрирования).

После потенцирования имеем

$$\frac{y}{y_{\infty} - y} = C^{-1} e^{ky_{\infty} t} \quad \text{или} \quad \frac{y_{\infty} - y}{y} = C e^{-ky_{\infty} t}.$$

Из последнего выражения получается модифицированная формула Перла

$$y = \frac{y_{\infty}}{1 + C e^{-ky_{\infty}t}} = \frac{y_0 y_{\infty}}{y_0 + (y_{\infty} - y_0) e^{-ky_{\infty}t}},$$

$$C = \frac{y_{\infty} - y_0}{y_0}$$

$$y(t=0) = y_0.$$

Кривая роста Перла имеет точку перегиба А с координатами

$$t_A = \frac{\ln C}{ky_{\infty}}$$

$$y_A = \frac{y_{\infty}}{2}$$

График  $y(t)$  симметричен относительно точки перегиба, имеет начальное нулевое значение при

$$t \rightarrow -\infty \text{ и } \lim_{t \rightarrow \infty} y = y_{\infty}.$$

По формуле (5.3) развитие любого процесса в условиях единства и борьбы противоположностей происходит по схеме:

интенсивный рост от  $y=0$  до

$$y = \frac{1}{2} y_{\infty}$$

и переход в экстенсивный период в промежутке

$$\frac{y_{\infty}}{2} \leq y \leq y_{\infty}$$

Интенсивный (качественный) рост служит причиной постепенного исчерпания поддерживающих факторов и, напротив, зарождения противоположных, тормозящих рост факторов, которые объективно приводят к замедлению, а затем и вовсе к прекращению роста у при

$$t \rightarrow \infty,$$

Применение формулы Перла позволяет предсказать скорость, с которой новое техническое или технологическое решение вытесняет предыдущее, устаревшее, используемое для получения той же продукции.

В других случаях может интересоваться скорость адаптации новых идей, техники, технологий.

Так как естественно недоверие к новым идеям, то их внедрение вначале идет трудно, но постепенно темп растет

$$(t_0 < t \leq t_A).$$

Со временем возможности существующей технологии исчерпываются, что характеризуется уменьшением скорости роста

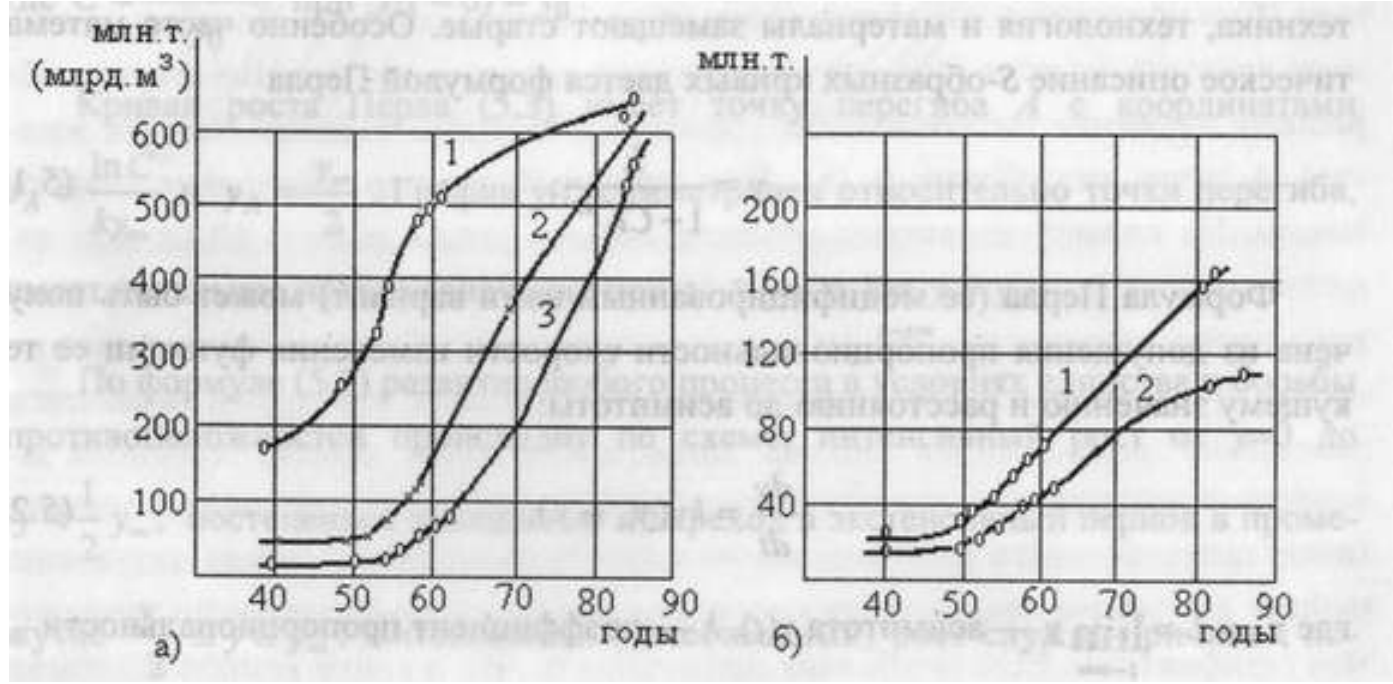
$$(t > t_A)$$

Этот участок, как отмечалось, определяет экстенсивное (количественное, расширяющее, удлиняющее) развитие. В подобных ситуациях возникает необходимость замещения старых идей, материалов новыми, основанными на революционных идеях и решениях. Таким образом, замещение одной (старой) технологии другой (новой) представляется S-образными кривыми роста

Таким образом, замещение одной (старой) технологии другой (новой) представляется S-образными кривыми роста.

Например, замена паруса двигателем а дерева — металлом в судостроении характеризуется S-образными кривыми, используя которые можно прогнозировать темпы увеличения параметров, определить возможный «потолок» (асимптоту), а при известном пределе предсказать скорость роста функции в будущий период.

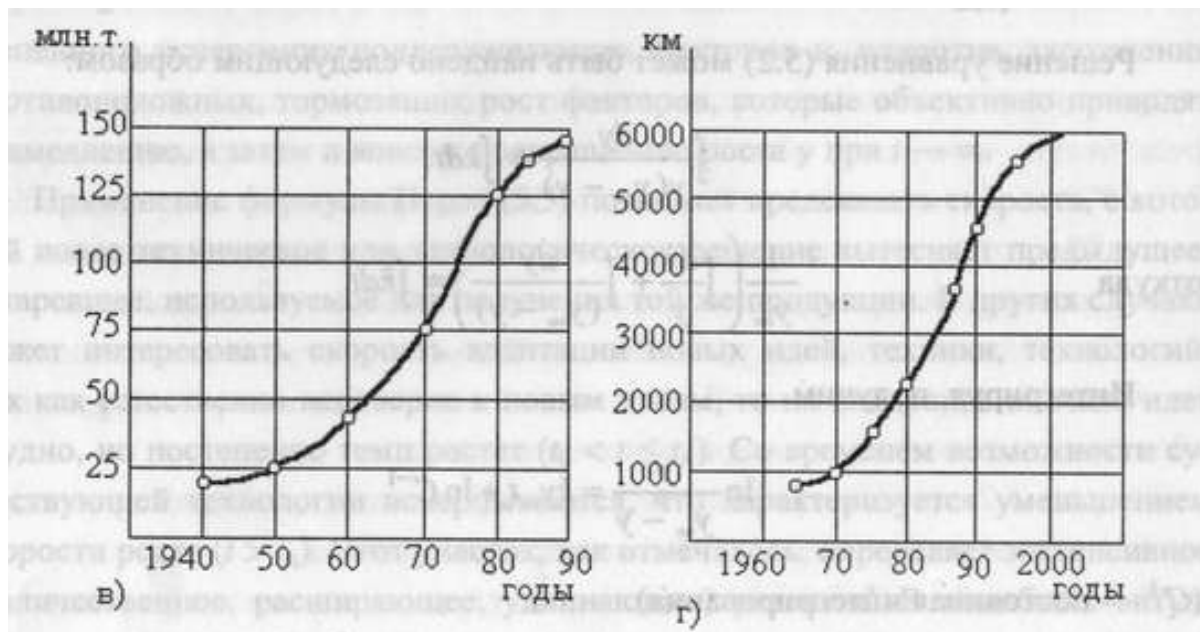
На рис.представлены опубликованные в открытой печати данные о развитии добычи ряда полезных ископаемых (а, в), производстве стали и чугуна (б) и протяженности газопровода (г) за последние 60 лет.



Во-первых, следует отметить во всех примерах S-образный характер кривых.

Во-вторых, обращаем внимание на тенденцию замещения твердого топлива сначала жидким, а затем газообразным (а). Это типичный пример замещения старого новым. На кривых изменения объемов добычи угля в районе 60-го года заметна точка перегиба. Это означает, что в начале 60-х годов закончился период интенсивного развития добычи угля на топливо. В это же время развитие нефте- и газодобычи происходит с растущими темпами, тем самым начинается замещение твердых видов топлива. Затем, в 80-х годах, заметна тенденция завершения интенсивного роста нефтедобычи, когда нефть начинает вытеснять более прогрессивный вид топлива — газ.

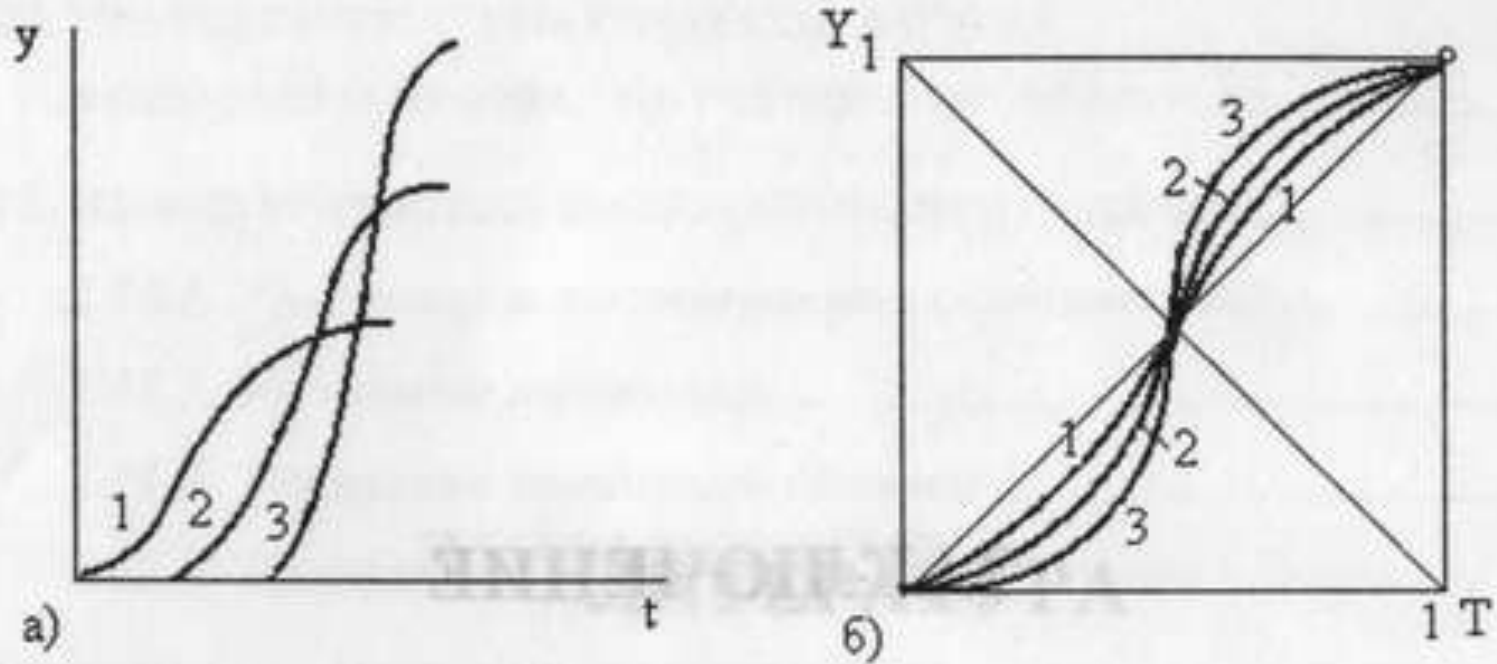
Следовательно, сейчас актуальны работы по добыче твердых и жидких горючих ископаемых например способом подземной газификации.



Есть основания предполагать, что в конце концов и добыча газа на топливо вступит в экстенсивный период развития и объективно на смену газу придет более прогрессивный вид топлива (энергии).

На рис. в представлено изменение объемов добычи минеральных удобрений в мире за 1940-1990 гг. Также можем наблюдать на S-образной кривой точку перегиба в начале 70-х годов, означающую переход в экстенсивный период развития, т.е. начало замещения применения традиционных минеральных удобрений новыми способами повышения урожайности. Возможно, что это генная инженерия. Анализ и других кривых (б, г) также позволяет прогнозировать развитие работ по созданию новых материалов и технологий.

На рис. показан обобщенный характер замещения устаревших технологий, техники, материалов и идей более прогрессивными. Характерной особенностью замещения служит сокращение периода интенсивного развития более прогрессивных идей, но максимальный рост  $y_{\infty}$  при этом повышается.



Замещение устаревших технологий (1) прогрессивными (2,3): а — натуральный масштаб, б — нормированные зависимости



Представляя эти S-образные кривые в нормированном виде

$$Y = \frac{y - y_0}{y_\infty - y_0} \in [0, 1] \text{ и } T = \frac{t - t_0}{t_\infty - t_0} \in [0, 1]$$

можно наблюдать, что более прогрессивная технология имеет более выраженный S-образный характер с сокращением периода адаптации и внедрения нового.

Эта тенденция подтверждается историческим опытом постоянного сокращения периода внедрения новых идей в практику.

Таким образом, графические методы прогнозирования нужны для определения тенденций развития научных исследований и выбора наиболее перспективных направлений в каждом конкретном случае.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше рассмотрены наиболее употребляемые, на наш взгляд, в технических приложениях методы моделирования и принятия решений в горном деле.

При этом материал изложен в наиболее доступной для обучающихся форме, иллюстрируя лекции примерами, которые могут быть распространены для самых различных областей техники и технологий.

В лекциях приведены и изучаются лишь «вершки» прикладных математических методов, так как более глубокое их рассмотрение привело бы к неизмеримому росту объема курса. Да это, видимо, и не нужно было делать. Ведь главная задача курса, -- показать возможности и основные идеи моделирования и оптимизации решений, увлечь и подвести студентов к потребности сначала получить собственный опыт решения практических задач, а уже затем приступить к систематизации и углублению знаний в этой области.