

Э. С. СПИРИДОНОВ, Р. Е. ЕМЕЛЬЯНОВ, И. В. КУЛИКОВА, А. А. ДЕНИСОВ,  
В. ЖЕРЕБЦОВА (МИИТ, Россия)

## НАУКОЁМКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЛИНЕЙНО ПРОТЯЖЁННЫХ ОБЪЕКТОВ

У даній статті розглянуті наукомісткі підходи до прогнозування розвитку єдиної транспортної системи.

В данной статье рассмотрены наукоёмкие подходы к прогнозированию развития единой транспортной системы.

The high technology approaches to forecasting development of uniform transport system are considered in the article.

Транспорт, обеспечивающий совместно с энергокоммуникациями и связью материальные, энергетические и информационные потоки, создает необходимые условия, поступательного развития и эффективного размещения его производственных сил в стране. Мировой опыт свидетельствует, что уровень, характер и темпы взаимоувязанного развития этих составляющих инфраструктуры транспортного обслуживания могут служить индикатором развития страны и отдельных регионов.

В недалеком прошлом транспорт нашей страны был жестко поделен между ведомствами-министерствами и государственными комитетами. Ведомственный принцип управления породил разобщенность различных видов транспорта. Между тем, по своей внутренней сути, как показывает прошлый российский опыт и практика передовых стран, развиваться он должен как единый организм страны – единая транспортная система (ЕТС).

Новое геополитическое положение России, изменившиеся условия транспортных связей с сопредельными государствами и между регионами страны по-иному поставили задачу долгосрочного развития транспортного комплекса – от единой транспортной системы до отдельного объекта – его строительства, реконструкции и эксплуатации.

Не все обстоит благополучно и с методами организации, технологии и управления строительным комплексом и выбором научно-обоснованных решений в этой области. Традиционные методы периода директивно-планового регулирования в строительном производстве негибки и недостаточно оперативны в деле управления прогнозированием проектированием возведения объектов. С позиции ресурсоемкости создание транспортных коммуникаций принадлежит к ресурсоемким обла-

стям, которые реализуются в железных и автомобильных дорогах.

Народное хозяйство России характеризуется сложной системой хозяйственных связей различных предприятий, расположенных на обширной территории и выпускающих один или несколько видов продукции. Современные объемы производства требуют разветвленного и единого транспортного комплекса. Невозможно эффективное хозяйственное сотрудничество регионов и отдельных предприятий страны без транспортного обслуживания, т. е. научно-производственное и экономическое единство государства. Распад СССР и последовавшее за этим разделение единой транспортной сети привели к разрыву сложившихся хозяйственных связей и падению экономического потенциала.

Другая важная народнохозяйственная задача, в которой решается проблема транспорта – это хозяйственное освоение новых регионов. Она особенно важна для северных и восточных регионов страны. Практика однозначно показывает приоритетность влияния транспортной инфраструктуры на сроки и затраты при хозяйственном освоении территории и на прогноз их развития.

Работа транспортных предприятий впервые сократилась в 1993 году на 13 км, в 1994 году на 23 км, в 1995 году на 81 км, 1996 году на 302 км и т. д. Кроме того, законсервированы линии общей эксплуатационной длиной 159 км, упразднено 13 отделений, 18 основных локомотивных депо, 25 пунктов технического обслуживания локомотивов, 23 пункта экипировки и 14 вагонных депо. Износ основных фондов (стоимость которых на начало текущего 2002 года составляет 2,6 млрд руб.) превышает 55 процентов. При этом в прошлом году из выполненной общей программы капитальных вложений на сумму 116 млрд руб. на непро-

фильное строительство на непроизводственные нужды было отвлечено 22 процента!

Главной задачей является проведение реструктуризации кредиторской задолженности. Для ее решения требуется исполнение текущих налоговых обязательств перед бюджетами и параллельно погашение по графику тех задолженностей, которые накопились в отрасли до декабря 2001 года, в том числе по федеральному бюджету 10,3 млрд руб., региональным бюджетам 12 млрд руб., пенсионному фонду 3,1 млрд руб.

Без нового строительства и реконструкции железных дорог, невозможно их дальнейшее развитие, по этому строительство железной дороги – это сложный комплекс инвестиционного развития дорожных проектов. Как свидетельствует опыт применения концепции автоматизации управления проектами в развитых странах, сложность реализации строительного или реконструкционного проекта является одним из главных показателей целесообразности инвестиционного обеспечения объекта.

В рыночных условиях на современном этапе использование концепции управления проектами в строительстве и реконструкции, вызвана обострившейся проблемой координации усилий всех участников строительства в связи с тем, что старая централизованная система управления отраслью, выполнявшая эту задачу, практически полностью разрушена.

Концепция строительства разрабатывается как ведущий замысел, т. е. как цель и конструктивный принцип научной, экономической, технической, технологической и другой деятельности, направленной на развитие строительных структур. При этом на уровне отрасли возникает необходимость в разработке (либо получении) прогнозов, программ и планов формирования единого транспортного комплекса в ЕТС. Они определяют масштабность и пути развития транспортной инфраструктуры, отдельных видов транспорта и конкретных объектов.

В 2000 году МПС РФ приняло решение о строительстве подъездного железнодорожного пути к Эльгинскому месторождению коксующихся углей. Генеральным подрядчиком была определена Балтийская строительная компания. В сентябре 2000 года БСК-Восток приступила к работе.

По намеченным на 2001 год планам, БСК-Восток отсыпало около 120 км притрассовой автодороги, возведено земляное полотно, построены водопропускные сооружения и уложен

путь на участке до 40 км, а также подготовлен фронт работ на 2002 и 2003 гг.

Следует указать, что прогноз развития организации и технологии возведения объектов и совершенствования строительной техники зависит от ряда показателей, в число которых входят как экономические (объем строительного производства или изготовления изделий, экономическая эффективность, производительность труда и т. д.), так и технические параметры (уровни кибернетизации строительного производства, качество изделий и т. д.) (рис. 1). В общей сложности возникает необходимость учитывать, по меньшей мере, 20–25 показателей. Возникает перспектива решать задачу по прогнозу как функцию многих переменных или рассматривать системы с большим числом уровней и переменных. Положение еще больше осложняется тем, что прогноз по каждому параметру необходимо выражать, по крайней мере, в трех вариантах.

Подобная ситуация не позволяет на современном уровне развития прогностики пойти по линии применения теории функций с многими переменными. Поэтому, основываясь на качественной теории дифференциальных уравнений [1], мы намерены прогноз по данному объекту или виду технологии строительства определять на базе двух основных операторов, от которых, в свою очередь, зависят упомянутые выше экономические и технические показатели (рис. 2). Тогда, рассматривая задачу для двух основных операторов, мы получим решение, из которого как частные случаи должны вытекать прогнозы для этих экономических и технических показателей (параметрические ряды).

Проверка справедливости полученных решений осуществляется на основе верификации и оценки точности прогнозирования. Связь между величиной прогнозируемого феномена  $Q(t)$ , объемом новой технической информации и достигнутым уровнем технологии строительства можно получить в элементарных приращениях, исходя из следующих соображений. За время между зарождением технической идеи (новой машины) и практической ее реализацией произойдет изменение прогнозируемого феномена на величину  $\Delta Q(t)$ . Приращение  $\Delta Q(t)$  на элементарном отрезке  $\Delta t$  будет пропорционально объему информации, накопившейся за время  $t - \tau$ , т. е.  $V(t - \tau)$ , где  $\tau$  – время в прошлом,  $t$  – время в будущем, и некоторой производственной функции  $\Pi(t)$ , стиму-

лирующей изменение феномена на участке  $\Delta t$ , т. е.:

$$\Delta Q(t) = V(t - \tau) P(t) \Delta t. \quad (1)$$

Предполагается, что процесс накопления информации непрерывен (рис. 1). Следовательно-

но, можно просуммировать элементарные приращения и получить:

$$\sum_{t=0}^t \Delta Q(t) = \sum_{t=0}^t V(t - \tau) P(t) \Delta t. \quad (2)$$



Рис. 1. Организация и технология строительства

Переходя в этом уравнении от приращений к дифференциалам и интегрируя его в пределах от нуля (базис) до  $t$  (время прогнозирования), будем иметь:

$$\int_0^t dQ(t) = \int_0^t [V(t - \tau) \cdot P(t)] dt. \quad (3)$$

Здесь  $V(t - \tau)$  приобретает смысл функции с запаздывающим аргументом. А разность  $t - \tau$  соответствует инкубационному периоду или периоду прогнозирования  $T$ , т. е.  $T = t - \tau$ .

В нашу задачу входит выяснить прогнозный смысл функций  $V(t - \tau)$  и  $P(t)$ , что позволит определить вид операторов  $\Omega_1(t)$   $\Omega_2(t)$  и тем

самым решить первую половину основной задачи.

Интегрируя левую часть уравнения (3), получим

$$Q(t) = \frac{1}{\lambda} \int_0^t [V(t - \tau) \cdot P(t)] dt. \quad (4)$$

Результат: интегральное уравнение, в котором  $V(t - \tau)$  обозначает запаздывание между возникновением научно-технической идеи новой машины и ее реализацией (внедрением). В теории интегральных уравнений функция  $V(t - \tau)$  называется ядром, а параметр  $\lambda$  – параметром уравнения. В физическом смысле параметр  $\lambda$  характеризует качество информации,

отражая старание (дисконтирование) исходных данных.

Рассматривая феномен  $Q(t)$  как некоторое значение вероятности достижения цели (для конкретных расчетов принимается  $Q(\infty) = 0,5$ ).

А. Л. Флорид [2] получил формулу для изучения этого показателя во времени, которая свидетельствует, что общая тенденция развития технического решения имеет форму  $S$  – образной кривой (логическая функция).

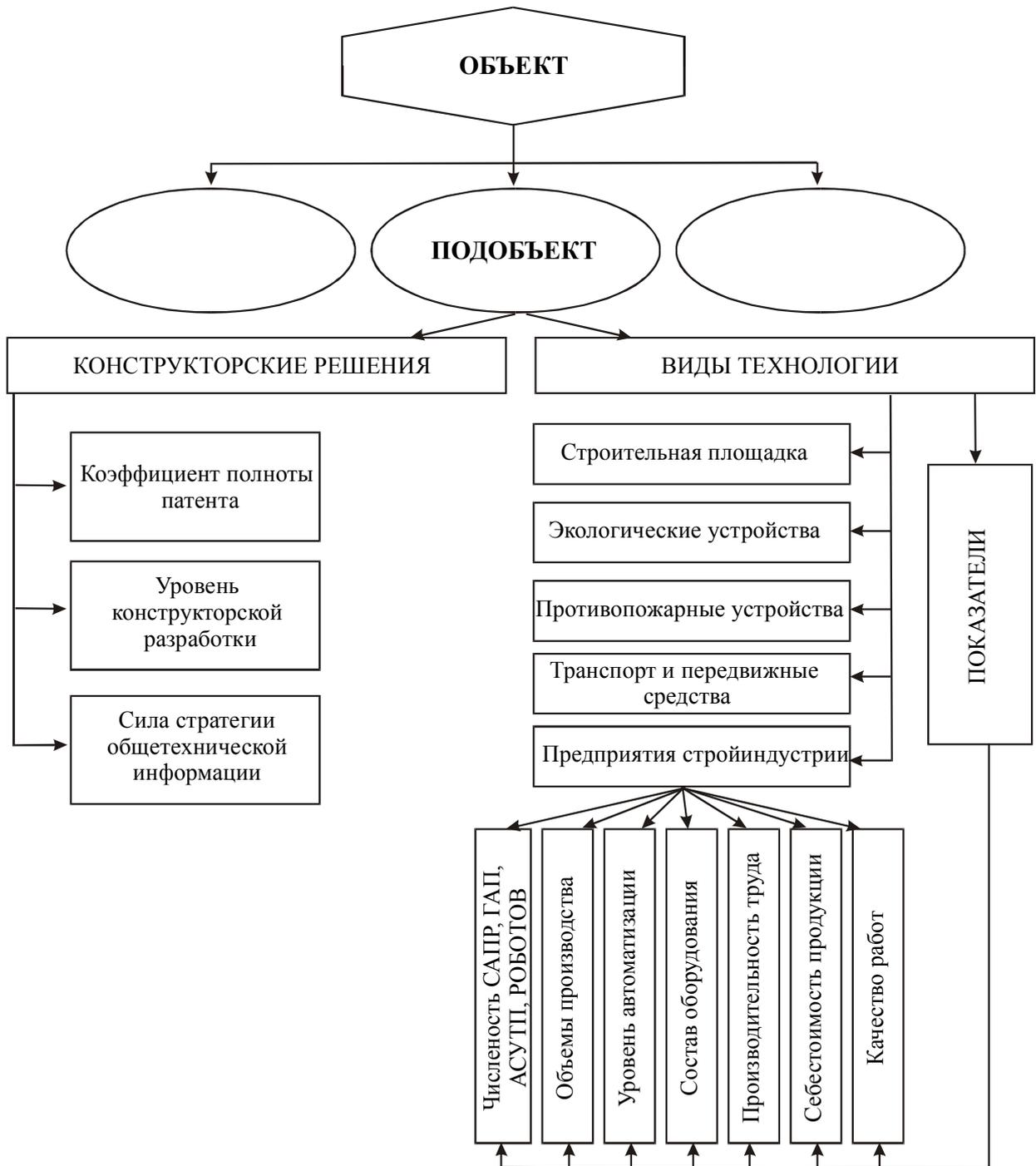


Рис. 2. Инженерное прогнозирование технологических и конструкторских решений в технологии строительства

Оперировать с одним показателем, тем более выраженным в общем виде, для инженерного прогнозирования недостаточно. Поэтому предпринимаем попытку получить из уравне-

ния (4) столько показателей, сколько окажется необходимым для полного описания развития объекта или подобъекта.

Функции  $V(t-\tau)$  и  $\Pi(t)$ , входящие в уравнение (4), по существу, неизвестны. Именно это придает ему характер интегрального уравнения, где неизвестные функции входят под знаком интеграла.

Выражение (4) характеризует динамический (временной) процесс изменения феномена  $Q(t)$  в статической форме это изменения в общем виде представится так:

$$Q = E \cdot V^\mu; \text{ при } 0 < \mu < \infty, \quad (5)$$

где  $V$  – объем информации,  $\mu$  – показатель трансмиссивности,  $E$  – коэффициент трансмиссивности.

В (5) показатель степени  $\mu$  может быть принят равным 2, поскольку между показателями  $Q$  и относящейся к ним информации  $V$  наблюдается параболическая зависимость.

Выражение (5) освещалось в [2], поэтому нет надобности вновь возвращаться к его анализу. Необходимо лишь отметить, что информация в нем выступает как объективная категория, имеющая тот же материалистический смысл, что и масса, энергия, пространство, время и т. д., а также подчеркнуть, что соотношение (5) отображает своеобразный закон, связывающий информацию с ее результатом.

Существует классический метод решения интегрального уравнения (4), состоящий из сведений его к системе алгебраических уравнений с последующим ее решением и получением значений (в данном случае показателей) в форме математических рядов.

Такой подход весьма полезен, так как дает возможность осуществления решений. Иными словами, косвенно доказывается теорема существования прогнозных показателей в форме временных рядов.

Однако процедура решения систем до 20–25 показателей оказывается весьма громоздкой и даже при быстродействующих ЭВМ занимает много сил и времени. К тому же замкнутого решения не получается, чрезвычайно усложняются алгоритмы, так как, по существу, для каждого показателя систему приходится решать сначала. Учитывая изложенное, ниже приводится иной подход к получению значения операторов (а потом и показателей) в достаточно простом и относительно точном виде.

Для получения практического решения к системе, состоящей из выражений (4) и (5), добавляются следующие условия существования решения:

– принцип куммуляты, когда информация представляется нарастающим по времени ито-

гом, обеспечивающим непрерывность информационных потоков, где  $\delta$  – произвольное число;  $\varepsilon$  – число, характеризующее точность прогнозирования.

– соотношение В. Я. Буняковского, позволяющее представить (в условиях неравенства) интеграл в виде произведения двух интегралов.

$$\int_0^t \{g(T)p(t)dt\}^\mu \leq \int_0^t g(T)^\mu dt \cdot \int_0^t p(t)^\mu dt. \quad (6)$$

Мы пришли к неравенству (в предельном случае – равенству) В. Я. Буняковского, согласно которому соотношение

$$Q(t) = \frac{2Q_0V_0\lambda\tau_0}{V_{\text{нол}}} \int \left[ \frac{\partial V}{\partial \tau} \Pi_0 \Pi(t) \right] dt$$

может быть представлено в виде произведения интегралов. Используя выражение (5), и переходя к прежним обозначениям, получим раздельное на две части подынтегральное выражение

$$Q(t) = \left( \frac{2 \cdot Q_0 \cdot V_0 \cdot \lambda \cdot \tau_0}{V_{\text{нол}}} \right) \cdot \left( \int_0^t \frac{\partial V}{\partial \tau} dt \right) \cdot \left( \Pi_0 \cdot \int_0^t \Pi(t) dt \right). \quad (7)$$

Первая часть подынтегрального выражения (7)  $\frac{\partial V}{\partial \tau}$  характеризует информационную функцию, а вторая  $\Pi(t)$  соответствует производственной функции. Таким образом, выражения (5) и (6) позволяют линеаризировать уравнение, из которого уже просматриваются варианты прогнозирования показателей  $Q(t)$ . Подробно этот вопрос освещается ниже. Однако уже сейчас следует заметить, что при  $\int_0^t \Pi(t) dt = 0$ , будем

иметь  $Q(t) = \int_0^t \frac{\partial V}{\partial \tau} dt$ , т. е. первый вариант раз-

вития технологии строительства, соответствующий внедрению новой технологии (коэффициенты и параметры временно опускаются).

И, наоборот, при  $\int_0^t \frac{\partial V}{\partial \tau} dt = 0$  возникает второй вариант прогнозирования, соответствующий внедрению существующих решений, т. е.

$$Q(t) = \int_0^t \Pi(t) dt.$$

Однако соотношение (7) требует еще выяснения прогнозности возможности применения знаков равенства и неравенства. В соответствии со второй теоремой о среднем в интегральном исчислении соотношение (7) можно предста-

вить (опять же опуская постоянные величины) еще и так:

$$\int_0^t \frac{\partial V}{\partial \tau} dt \int_0^t \Pi(t) dt = \frac{\partial V}{\partial \tau} dt(0) \int_0^{\xi} \Pi(t) dt + \frac{\partial V}{\partial \tau} dt(b) \int_{\xi}^b \Pi(t) dt \quad (8)$$

при  $0 \leq \xi \leq b$ .

Из этого соотношения следует, что в подынтегральное выражение (8) входит только одна функция, в данном случае –  $\Pi(t)$ , а вторая – зарождается в постоянные величины, которые выносятся за знак интеграла. Следовательно, для полного соблюдения неравенства Буняковского необходимо и достаточно наложить ограничения лишь на производственную функцию  $\Pi(t)$ , которая, как будет показано ниже, выражается через оператор  $\Omega_2(t)$  в двух уровнях, соответствующих  $\max$  и  $\min$  прогнозируемого показателя. В соответствии с этим «равенство» в этом соотношении строго соответствует производственному оператору, определенному по  $\min$ , а «неравенство» отражает факт изменения прогнозируемого феномена в пределах изменения оператора от  $\min$  до  $\max$ .

Отмеченное обстоятельство может быть учтено при составлении вариантов прогнозов. Однако практические расчеты показывают, что разница между  $\min$  и  $\max$  несущественна. Поэтому для определенности все последующие выкладки и расчеты производятся для случая  $\min$ , т. е. в соотношении Буняковского используется равенство.

Можно было бы обойтись без неравенства Буняковского, записав исходное выражение (4) в виде произведения двух интегралов и введя (как это делается в математическом программировании) «фиктивную» функцию  $W$ . Однако это потребует специальных доказательств независимости потоков информации относящихся к

$V(t-\tau), \Pi(t)$  и дополнительных расчетов для оценки  $W$ , т. е. усложнит решение задачи.

Как видим решение прогнозных задач по оценке развития строительного производства или техники является сложным с позиции математического обоснования, но это важно. С начала 90-х годов этими вопросами перестали заниматься, считая, что планирование вредно для рыночной экономики, забыв, что любая компания или фирма, если она хочет выживать должна разрабатывать свою траекторию развития. Конкурентная борьба бескомпромиссна. Это дано понятно на западе. Для развития транспортного строительства в будущем, нужно серьезно заниматься вопросами прогнозирования, опираясь на достижения математического прогнозирования и используя его методы.

Прогнозирование развития транспортного комплекса страны, его инфраструктуры – это задача, которая может быть решена на базе прогностики и тех экономико-транспортных методов, которые используются в теоретических подходах этого научного направления. Создание и развитие единой транспортной системы страны – это задача не только настоящего, но и будущего, т. е. поступательного развития России. Без обоснованного прогнозирования этих задач не решить.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карасев М. В., Маслов В. П. Глобальные асимметрические операторы регулярного представления. – Владивосток: ДАН РФ, 1991. – С. 33–37.
2. Флойд А. Л. Методы прогнозирования изменения показателей технической эффективности. – М.: Прогресс, 1992. – 57 с.