

УДК 693

к.т.н., профессор Осипов А. Ф.,  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ОБЪЕКТОВ

*В статье изложены методика, основные принципы и уровни технологического прогнозирования параметров технологии реконструкции объектов промышленного и гражданского назначения.*

*Ключевые слова: прогнозирование, методика, технологические параметры, реконструкция.*

Технологической основой оперативного снижения динамики состояний внешней среды [5], является разработка и обоснование методологии прогнозирования параметров технологии на этапах проектирования [6-10] и выбора наилучшего метода на технологических этапах выполнения строительных процессов – мониторинга строительных процессов [11].

Прогнозирование, как элемент отображения будущего состояния технологической системы, базируется на таких фундаментальных законах физики [1-3]:

– закон актуализма – состоит в априори, что ныне существующие и ранее существовавшие процессы и явления точно также будут существовать и в прогнозном будущем;

– закон симметрии явлений – инвариантность свойств, параметров и закономерностей при переходах из одного состояния технологической системы в другое;

– закон сложности – образование сложных стохастических систем из детерминированных элементов (подсистем) при возрастании их общего количества.

Прогнозирование, в соответствии с системным подходом, рассматривается как подсистема процесса создания строительной продукции при одновременном рассмотрении процедур прогнозирования как процессов принятия решений на иерархических уровнях, а именно (рис. 1, а):

а. Поисковый – исследование технологических ресурсов: системные прогнозы и оценка потенциалов, формирование парков машин отрасли, подрядных организаций;

б. Нормативный, включающий подуровни:

б.1. Проектный – формирование и выбор множества пригодных технически реализуемых методов на этапах проектирования (на период прогноза  $\tau$ );

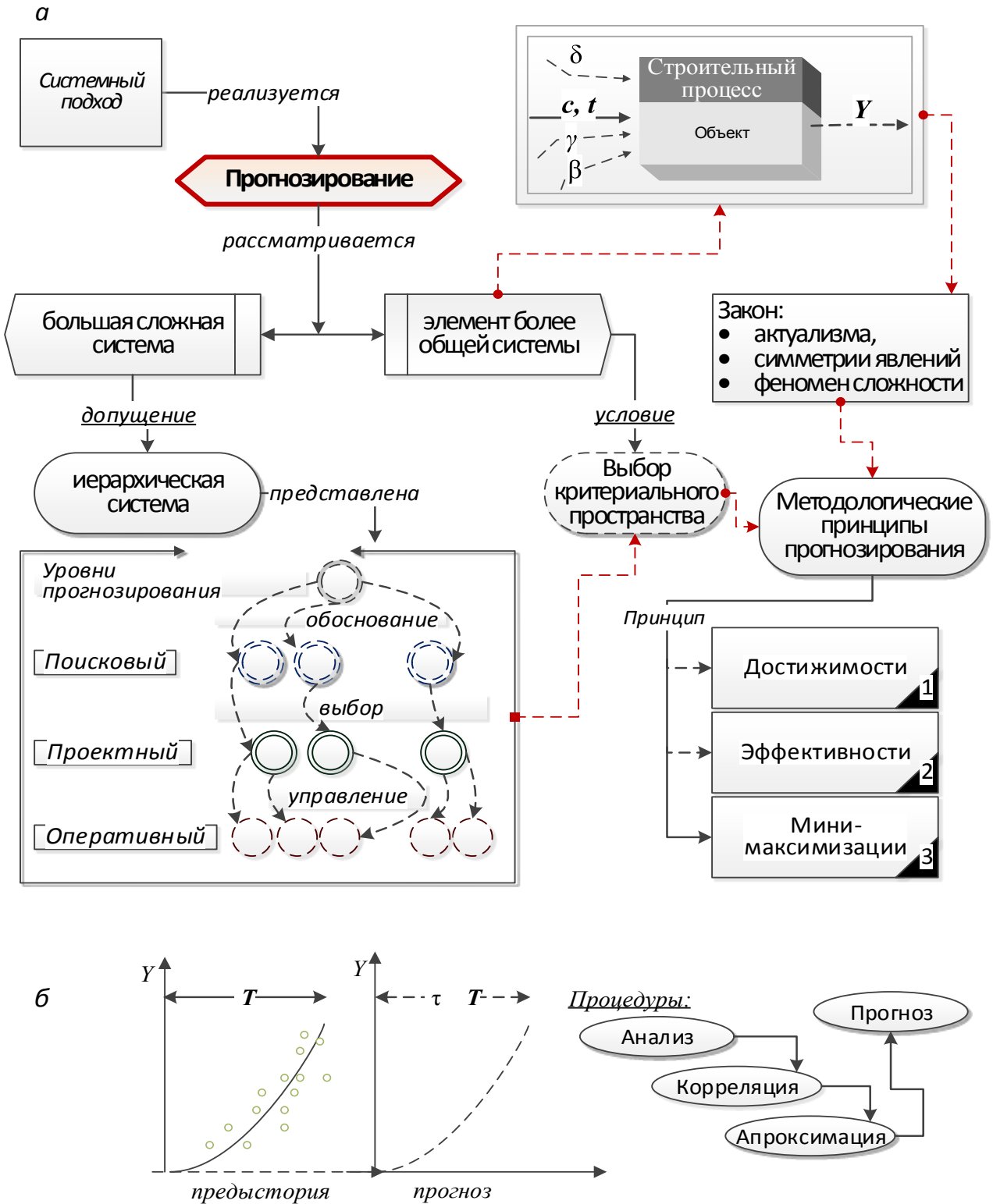


Рис. 1. Декомпозиция системного подхода на принятые допущения, условия и принципы при прогнозировании параметров технологии (а) и экстраполяции как последовательности процедур (б):  
 $T$  – период наблюдения за предысторией;  
 $\tau$  – глубина прогноза

в.2. Оперативный – формирование и выбор наилучшего метода на момент времени  $t$  с точностью до ошибок прогноза  $\delta$  на период прогноза  $\tau$ ;

При оценивании возможных альтернатив и параметров технологии принимаются следующие *методологические принципы*:

- принцип достижимости;
- принцип эффективности;
- принцип мини-максимизации возможных последствий.

*Принцип достижимости* ограничивает прогноз уровнем «осторожного оптимизма» и реализуется по методу экстраполяции; или иными словами, в основе принципа достижимости лежат экстраполяции.

Экстраполяция предполагает наличие предыстории и закономерностей в ней (рис. 1, б), и реализуется как процесс по схеме:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{[анализ и систематизация предыстории]} \downarrow \\ \text{[распознавание закономерностей]} \downarrow \\ \text{[прогнозирование параметров]}. \end{array} \right. \quad (1)$$

*Принцип эффективности* предполагает наличие целесообразности в реализации того либо иного метода, технологического или организационно-технологического решения в пространственно-временном континууме.

Данный принцип реализуется как динамический процесс принятия решений, трансформируемый в зависимости от глубины и целей (критериального пространства) прогноза и лежит в пределах – {от точных оценок, до эвристических}.

Критериальное пространство представляет собой иерархическую систему показателей, формируемое под уровни оптимизации (рис. 2):

– *поисковый* – уровень повышения производительности труда  $\Delta P$ , уровень снижения материалоемкости  $\Delta M$  и энергоемкости  $\Delta E$  строительной продукции, сроки окупаемости капитальных вложений  $T_k$ , направляемых на совершенствование техники строительных процессов (на внедрение новых методов выполнения и механизации (автоматизации) строительных процессов);

– *нормативный*, на подуровнях:

– проектный – прибыль проекта  $\Pi$ , сроки создания мощностей  $T_p$ , объем капитальных вложений  $K$ , сроки окупаемости капиталовложений  $T_k$ , затраты на реконструкцию  $C_p$ , себестоимость  $c_i$  и трудоемкость  $q_i$  единицы продукции;

– оперативный – на этапах:

1) корректировки проектных решений по доминантной цели (например, срок производства работ не превышает проектный  $T_p \leq T_D$ );

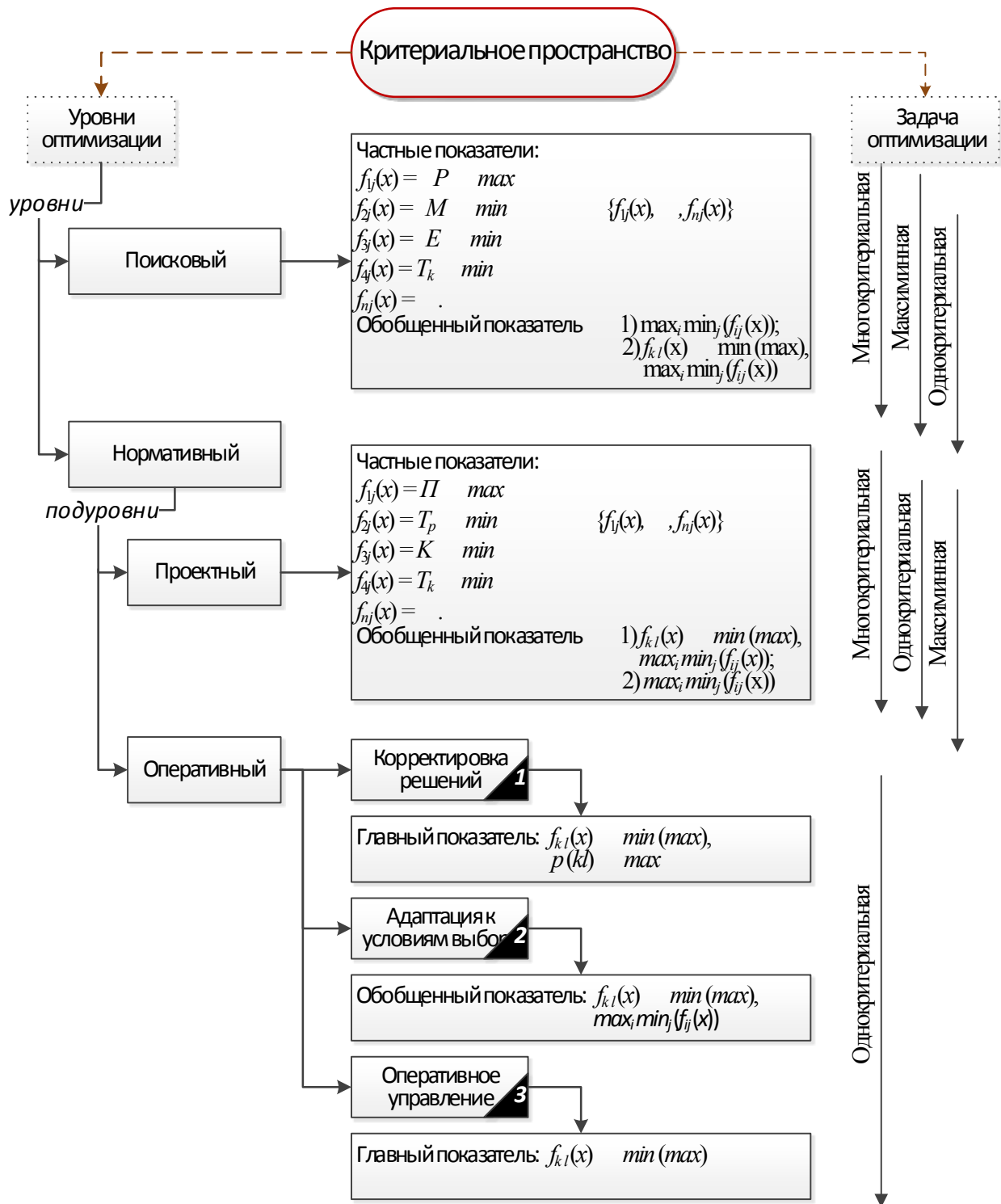


Рис. 2. Декомпозиция критериального пространства на уровни (подсистемы) и задачи оптимизации

2) адаптации к условиям выбора по прогнозу оперативной обстановки (например, минимизация суммарных затрат  $\sum c, t \rightarrow \min$  на совокупности однородных элементах фронта работ);

- 3) оперативного управления по условиям оперативной ситуации (например, минимизация затрат на выполнение строительного процесса  $c, t \rightarrow \min$  на элементе фронта работ).

*Принцип мини-максимизации* возможных последствий дополняет принцип эффективности и оценивает результативность принимаемых решений в общесистемном масштабе – во взаимодействиях с другими подсистемами.

Реализуется посредством использования системы разнородных критериев на эвристика-аналитических, аналитических и имитационных уровнях при обосновании (прогнозировании) технологических решений на поисковых и нормативных уровнях оптимизации.

Сущность оптимизации [19] заключается в определении абсолютного минимума ( $-x_0$ ) или максимума ( $+x_0$ ) целевой функции  $f(x)$  из области допустимых значений ( $M$ ), такое что

$$\bar{x}_0 = \begin{cases} \forall x \in M, f(x) \leq f(x_0) \\ \vee \\ \forall x \in M, f(x) \geq f(x_0). \end{cases} \quad (2)$$

*Методы технологического прогнозирования*, как элементы научной и инженерной деятельности, целиком и полностью предопределяются сущностью и методологией фундаментальных и прикладных исследований, направленных, соответственно, на исследование основ наук (уровень научных ресурсов) и основ технологии (технологических ресурсов), рис. 3.

Выделяют обычно два вида (группы методов) прогнозирования: поисковое и нормативное.

*Поисковое или исследовательское прогнозирование* заключается в анализе и систематизации предыстории, установление общих закономерностей и на основе этого, и с учетом законов актуализма и симметрии явлений, прогнозировании параметров технологии (см. (1) и рис. 1). Прогнозирование осуществляется от исходного уровня до желаемого будущего как динамический итерационный процесс (рис. 4, а).

К поисковым методам относятся интуитивные методы (*A*-методы; эвристика-аналитическое моделирование – делают возможным случайный доступ ко всем уровням, рис. 3), изыскательские (*B*-методы; эвристика-имитационные) и методы с обратной связью (*C*-методы; эвристика-имитационные, имитационно-аналитические) [1-4].

*Нормативное прогнозирование* заключается в проецировании желаемого результата (проекта реконструкции) на настоящее (начало реконструкции).

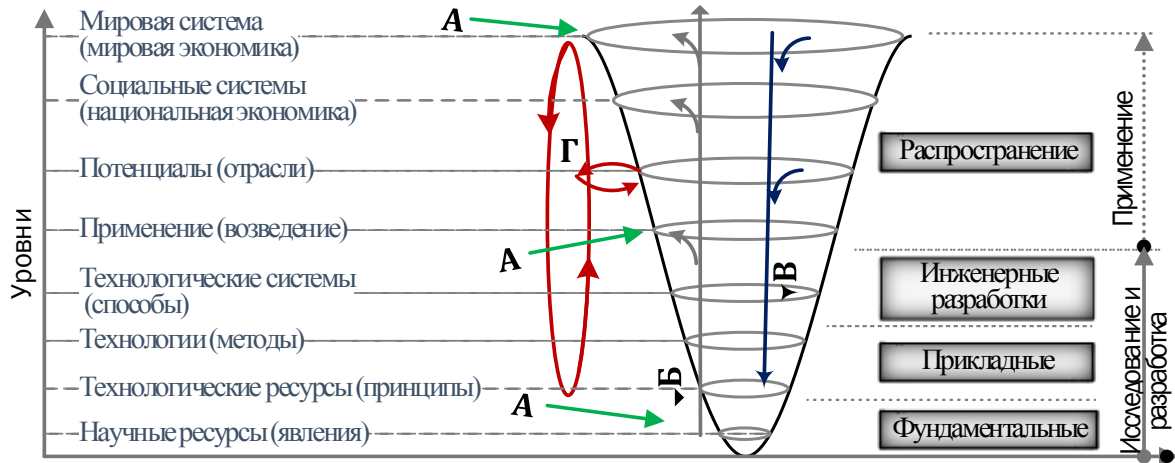


Рис. 3. Иерархия уровней исследования и распространения технологий: А, Б, В и Г – методы технологического прогнозирования, соответственно, интуитивные, поисковые, нормативные и с обратной связью

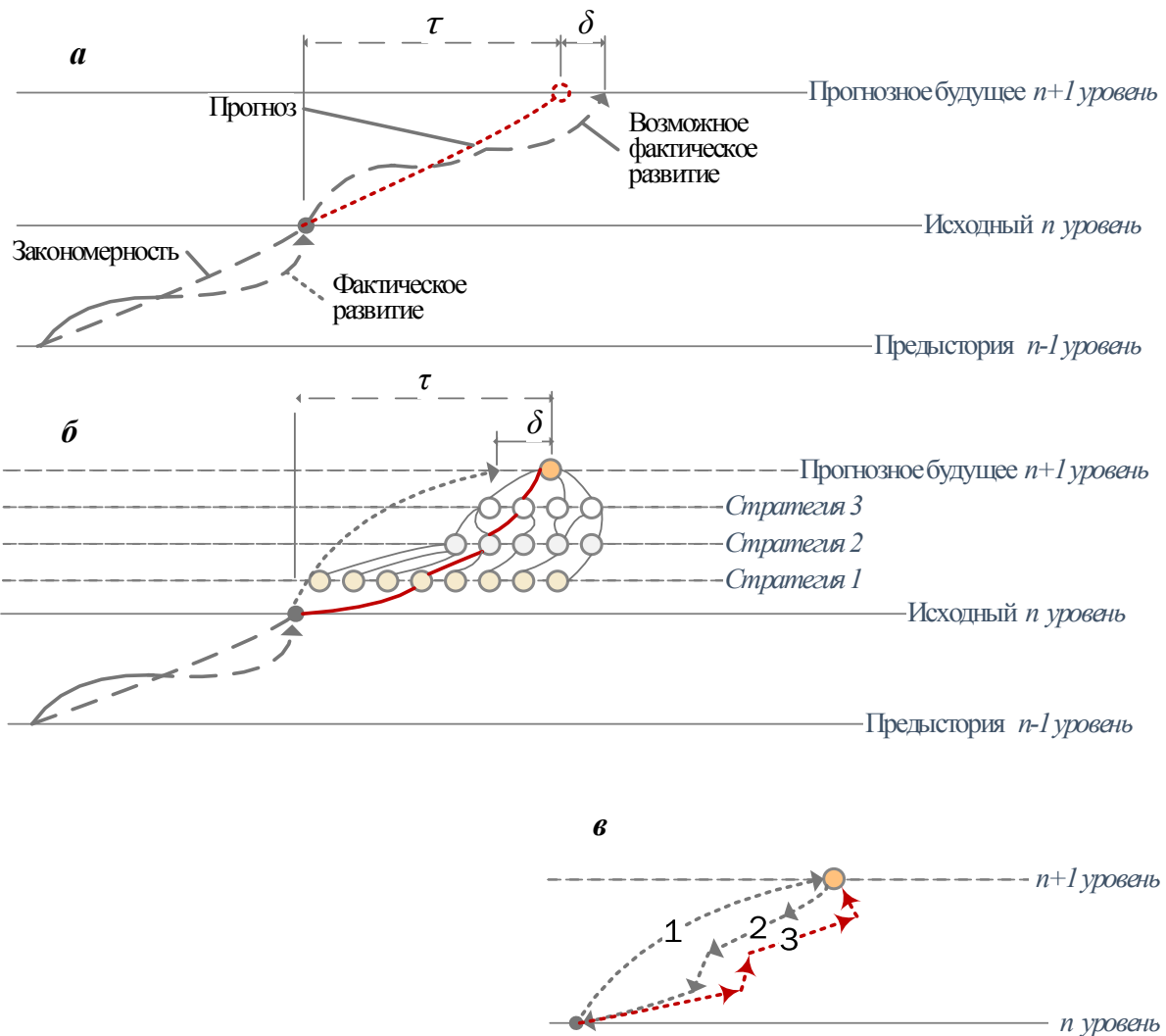


Рис. 4. Графическая интерпретация поискового (а) и нормативного прогнозирования (б, в):

$\delta$  – ошибка (погрешность) прогноза

Прогноз осуществляется как обратный процесс по графу целей; оптимизация пути и направления выбираются как отдельные оптимальные стратегии из множества возможных в достижении цели (рис. 4, б).

Таким образом, процесс прогнозирования циклично-направленный и состоит из трех циклов-дуг (см. рис. 4, в): 1 – проецирование желаемого результата; 2 – оптимизация пути от высших иерархий (методы реконструкции) до низших (методы выполнения и механизации процессов); 3 – оптимизация пути от низших иерархий к высшим.

Методологической основой обеспечения *точности прогнозирования* является использование системного подхода, декомпозирующего задачу прогнозирования технологических параметров на иерархические уровни оптимизации с выделением соответствующей системы критериев и методов из общего критериального пространства [12-14]. Каждому уровню прогнозирования (см. рис. 1) соответствует та либо иная система критериев и методов (задач) оптимизации (см. рис. 2, а), принятая исходя из распределения рассматриваемых уровней прогнозирования по следующей временной шкале:

1. Поисковое прогнозирование – соответствует уровню *долгосрочного прогноза*, оперирующего с закономерностями, категориями и формирующего гипотезы. Информация об условиях реализации прогноза чрезвычайно емкая – в виде показателей, параметров и категорий.

2. Проектное прогнозирование – соответствует уровню *среднесрочного прогноза*, оперирующего с объемно-планировочными и конструктивными решениями объекта (или системой объектов) реконструкции, объемами и условиями выполнения работ и формирующего методы реконструкции и выполнения комплексов строительно-монтажных работ. Информация об условиях реализации прогноза достаточно емкая, она факторизована в виде строительно-технологических характеристик и параметров фронта работ.

3. Оперативное прогнозирование – соответствует уровню *краткосрочного прогноза*, оперирующего с технологическими, пространственно-временными параметрами фронта работ и формирующего методы выполнения и механизации строительных процессов. Информация об условиях реализации прогноза чрезвычайно разнообразна и слабо факторизована.

В зависимости от уровня информационного разнообразия условий реализации прогноза (информационной энтропии) критериальное пространство представляется соответствующей системой критериев и задач оптимизации (рис. 2):

– система частных и обобщенных показателей наивысшего уровня системности при поисковом прогнозировании (уровень повышения производительности труда  $\Delta P$ , уровень снижения материалоемкости  $\Delta M$  и т.п.), что обеспечива-

ет корректность использования основных задач оптимизации – многокритериальной, макси-минной, однокритериальной;

– система частных и обобщенных показателей системного и детального характера при проектном прогнозировании (прибыль проекта  $\Pi$ , объем капитальных вложений  $K$ , себестоимость  $c_i$  и трудоемкость  $q_i$  единицы продукции и т.п.). Основными задачами оптимизации являются многокритериальная, однокритериальная и, в отдельных случаях, макси-минная оптимизации;

– главные и обобщенные показатели детального характера при оперативном прогнозировании, генерируемые на принципах адаптивного выбора [2-4] в зависимости от прогноза обстановки (при адаптации) или от конкретной ситуации (оперативное управление). Целесообразна однокритериальная оптимизация по главному (доминантному) показателю.

*Точность прогнозирования* предопределяется сущностью прогноза – как вероятностного суждения (оценка) о состоянии технологической системы к определенному моменту времени.

Технологическая система может находиться в определенных состояниях  $\omega \in \omega_0$ , где  $\omega_0$  – множество возможных состояний.

Тогда прогноз состояния системы на интервал  $\tau$  :

$$\hat{\omega}(t + \tau) = \hat{\omega}(t) + \hat{\dot{\omega}}(t) \cdot \tau + \delta, \quad (3)$$

где  $\hat{\omega}(t)$  и  $\hat{\dot{\omega}}(t)$  – оценка состояния и скорости изменения состояния;

$\delta$  – ошибка (погрешность) прогнозирования:

$$\delta = f(t) / \Theta(t - \zeta), \quad (4)$$

увеличивается с увеличением интенсивности воздействия факторов внешней среды  $f(t)$ , обратно пропорциональна «объему интегрального интеллекта»  $\Theta$  (суммы знаний о технологической системе) и увеличивается с увеличением  $\zeta = \zeta(\Theta)$  – величина запаздывания отображения ситуации системой (интеллектом).

Ошибка прогноза прямо пропорциональна ускорению изменения состояний системой:

$$\delta \approx \hat{\ddot{\omega}}(t) \approx f(t) / \Theta(t - \zeta). \quad (5)$$

Действительно, если период наблюдения за системой  $T$ , на основании которого выявлены основные тенденции и закономерности, намного больше глубины прогноза  $\tau$  ( $T \gg \tau$ ), тогда левую часть (3) можно разложить в ряд по  $\tau$  :

$$\omega(t + \tau) = \hat{\omega}(t) + \hat{\dot{\omega}}(t) \cdot \tau + \frac{1}{2} \hat{\ddot{\omega}}(t) \cdot \tau^2 + \dots, \quad (6)$$



приравняем  $\frac{1}{2} \hat{\omega}(t) \cdot \tau^2 \approx f(t) / \Theta(t - \zeta)$ , отсюда  $\hat{\omega}(t) \approx 2f(t) / [\tau^2 \Theta(t - \zeta)]$ ,

если выбрать систему единиц такую, что  $2/\tau^2 = 1$ , то имеем зависимость (5).

Анализ зависимости (5) показывает, что чем больше «объем интегрального интеллекта»  $\Theta$ , тем система независимее от внешней среды, так как она может меньшим количеством состояний ( $\hat{\omega}(t) \rightarrow 0$ ), а следовательно с меньшими затратами ресурсов (изменение состояния требует расхода ресурсов, энергии) противостоять внешней среде  $f(t)$ .

Однако при решении конкретных прогностических задач в каждый из периодов, моментов настоящего ( $t_n$ ) интегральный интеллект содержит ту-либо иную сумму знаний о системе и которая стационарна ( $\Theta(t) \cong const$ ) на интервале настоящего ( $[t_{нн}, t_{нк}]$ ), так как период наблюдения за системой  $T$  и глубина прогноза  $\tau$  намного больше настоящего ( $T \gg t_n \ll \tau$ ), рис. 5.

Таким образом, на первый план выходит фактор интенсивности воздействия внешней среды  $f(t)$  или информационной энтропии (неопределенности  $I(t)$ ). Следовательно, точность прогнозирования будет уменьшаться с возрастанием информационной неопределенности (в выражении (5) преобразуем  $f(t) \rightarrow I(t)$ ). Очевидно, что  $I(t)$  увеличивается с увеличением  $f(t)$ , но увеличивается по логарифмическому закону, закону возрастания энтропии (рис. 6). Здесь, информационный парадокс – с увеличением величины дальности (глубины) прогноза  $\tau$  скорость возрастания информационной энтропии  $\dot{I}(t)$  уменьшается и лианизируется на интервалах долгосрочного прогноза  $\tau_c \rightarrow \infty$ . Следовательно, основным механизмом уменьшения информационной энтропии является *структурирование информации*, осуществляемое за счет ее сжатия и концептуализации [15].

Действительно, краткосрочный прогноз  $\tau_A$  (как уровень стратегий) предполагает детальный учет факторов, условий, закономерностей, параметров внешней среды и внутренних закономерностей во все более точном учете всех взаимосвязей в процессе создания строительной продукции и чем точнее мы хотим «спрогнозировать» тем больше факторов и параметров надо учитывать, тем выше неопределенность  $I(t) \rightarrow max$ , а следовательно и хуже прогнозная координата (рис. 7).

Среднесрочный прогноз  $\tau_B$  (как уровень концепций) предполагает сжатие информации о среде и технологической системе в виде системы строительно-технологических характеристик, категорий сложности и динамичности фронта работ с формированием возможных методов реконструкции и выполнения строительно-монтажных работ.

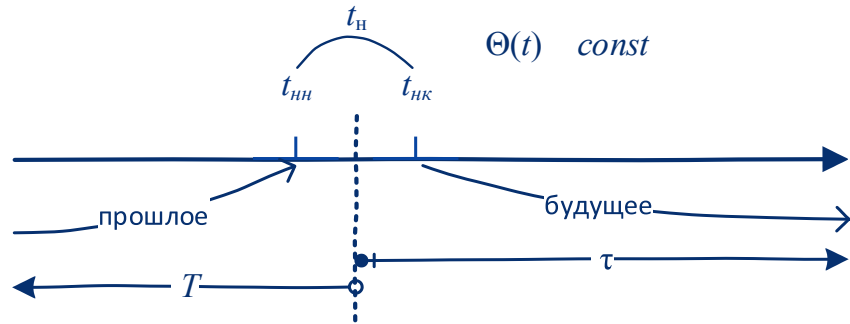


Рис. 5. Стационарность интегрального интеллекта на интервале проектирования (интервале настоящего):  
 $t_{нн}$  – начало проектирования (прогнозирования);  
 $t_{нк}$  – конец проектирования

Рис.6. Закономерности изменения интенсивности внешних воздействий  $f(t)$  и информационной энтропии  $I(t)$  во времени  $t$ :  
 $\tau_A$  – краткосрочный прогноз;  
 $\tau_B$  – среднесрочный прогноз;  
 $\tau_C$  – долгосрочный прогноз

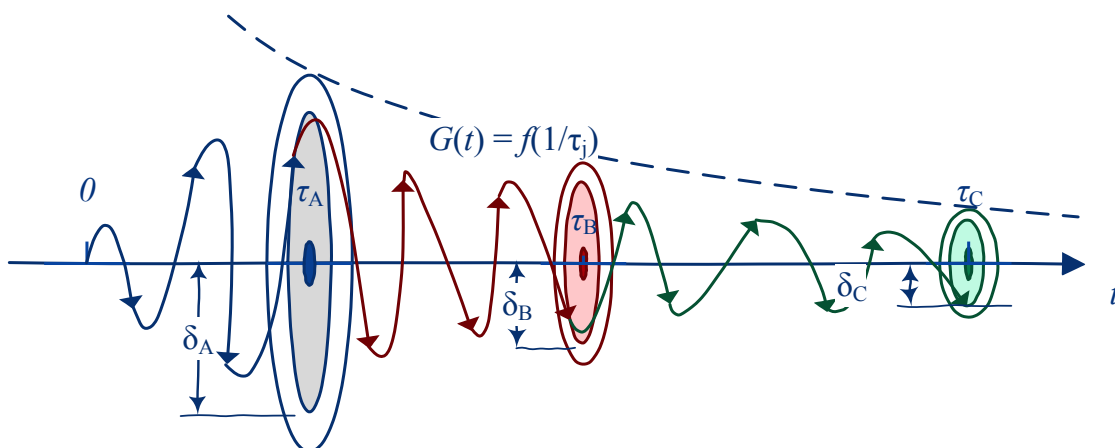
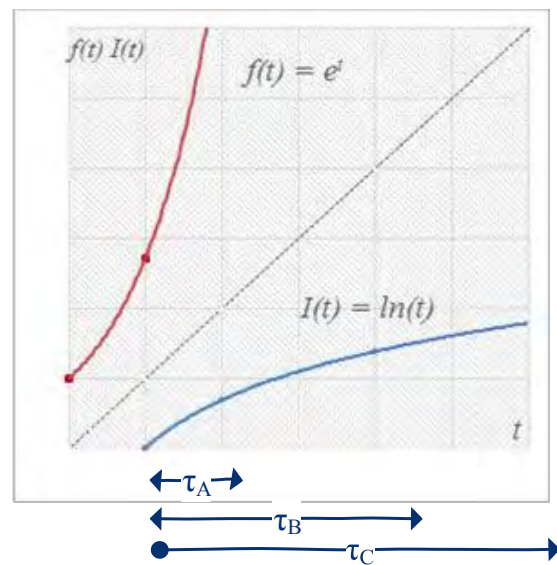


Рис.7. Интерпретация прогнозирования как динамического затухающего процесса:

$\delta_A, \delta_B$  и  $\delta_C$  – радиусы рассеивания, соответственно, при краткосрочном, среднесрочном и долгосрочном прогнозах;  
 $G(t)$  – огибающая, обратно пропорциональная глубине  $j$ -го прогноза

Информация об объекте реконструкции и условиях ее выполнения компактна, емкая, точная и практически непротиворечивая, так как она факторизована и категоризованная. Область рассеивания прогнозной координаты существенно меньше чем при краткосрочном прогнозе –  $[-\delta_B, +\delta_B] \ll [-\delta_A, +\delta_A]$  (рис. 7).

Долгосрочный прогноз  $\tau_C$  – это уровень гипотез, соответствует таким компонентам научно-технической деятельности как моделирование и конкретизация. Долгосрочный прогноз оперирует с моделями и формирует гипотезы. Информация об объекте и условиях его реконструкции сверх сжатая, емкая, так как она категоризованная – используется категории сложности объектов реконструкции  $K_{OP}^l$ , условий производства работ  $K_Y^l$ , сложности и динамичности фронта работ  $K_{CD}^l$  [16-17]. Область рассеивания прогнозной координаты уже существенно меньше чем при среднесрочном прогнозе –  $[-\delta_C, +\delta_C] \ll [-\delta_B, +\delta_B]$  (см. рис. 7).

Таким образом, с увеличением глубины прогноза уменьшается область рассеивания прогнозной координаты, обусловленное законом уменьшения информационной энтропии в интеллектуальном комплексе.

Данным обстоятельством объясняется и принятая в данном исследовании декомпозиция критериального пространства (см. рис. 3) на уровни и задачи оптимизации – на более высоких иерархических уровнях оптимизации возможны многокритериальные, макси-мининые и однокритериальные задачи оптимизации, а на низшем уровне – только однокритериальные задачи на основе критерия, который в данной обстановке или ситуации является доминантным (главным системообразующим критерием) и который принадлежит множеству возможных критериев.

### Литература

1. Анохин П. К. Философские аспекты теории функциональной системы / П. К. Анохин. – М. : Наука, 1978. – 399 с.
2. Гусаков А. А. Системотехника в строительстве / А. А. Гусаков. – М. : Стройиздат, 1993. – 368 с.
3. Дружинин В. В. Системотехника / В. В. Дружинин, Д. С. Конторов. – М. : Радио и связь, 1985. – 200 с.
4. Жуков А. А. Оптимизация технологии и организации строительства / А. А. Жуков. – К. : «Будивэльник», 1977. – 182 с.
5. Осипов А. Ф. Эффективность функционирования организационно-технологических систем в условиях реконструкции промышленных предприятий: збір. наук. праць. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин / А. Ф. Осипов. – К. : КДТУБА, 1998. – Вип. 3. – С. 120–122.
6. Осипов А. Ф. Реконструкция зданий. Проблемы и перспективы: сб. науч. трудов. Строительное производство / А. Ф. Осипов. – К. : НИИСП, 2000. – Вып. 41. – С. 19–22.
7. Осипов О. Ф. Ефективність зведення монолітних багатоповерхових будинків: сб. науч. трудов. Строительное производство / О. Ф. Осипов, С. Ф. Акимов. – К. : НИИСП, 2000. – Вып. 41. – С. 68–71.

8. Осипов А. Ф. Основные принципы проектирования динамически трансформирующихся технологических систем / А. Ф. Осипов // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідомчий наук.-техн. збір. – К. : КДТУБА, 2000. – Вип. 67. – С. 162–165.
9. Осипов О. Ф. Реконструкція промислових підприємств. Основні особливості і ефективність зведення монолітних конструкцій / О. Ф. Осипов // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – К. : КДТУБА, 2001. – Вип. 9. – С. 143–150.
10. Осипов О. Ф. Проектування монтажних-демонтажних процесів. Формування і оцінка рішень / О. Ф. Осипов, О. В. Гречишкіна // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах реформування ринкових відносин: зб. наук. праць. – К. : КДТУБА, 2001. – Вип. 9. – С. 51–55.
11. Осипов О. Ф. Концепция и принципы проектирования мониторинга строительных процессов и производства / О. Ф. Осипов, В. К. Черненко // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах реформування ринкових відносин: зб. наук. праць. – К. : КДТУБА, 2002. – Вип. 10. – С. 117–124.
12. Осипов О. Ф. Оцінка параметрів фронту робіт при зведенні монолітних конструкцій в умовах реконструкції / О. Ф. Осипов // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – К. : КДТУБА, 2002. – Вип. 12. – С. 92–101.
13. Осипов О. Ф. Методика оцінки чинників впливу на параметри технологічних процесів при влаштуванні фундаментів з поруч існуючими будинками / О. Ф. Осипов, І. Т. Гладун // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2004. – Вип. 19. – С. 179–185.
14. Осипов О. Ф. Науково-методологічні основи проектування технології зведення монолітних конструкцій і споруд / О. Ф. Осипов // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2005. – Вип. 21. – С. 237–244.
15. Осипов О. Ф. Загальна концепція та основні закономірності розвитку складних виробничих систем в будівництві / О. Ф. Осипов // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2005. – Вип. 22. – С. 219–230.
16. Осипов А.Ф. Основные положения методологии формализации факторов, влияющих на технологию реконструкции / А. Ф. Осипов // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збір. – К.: КНУБА, 2013. – Вип. 49. – С. 348-355.
17. Осипов А. Ф. Параметризация строительно-технологических характеристик объектов реконструкции / А. Ф. Осипов // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збір. – К. : КНУБА, 2013. – Вип. 50. – С. 462–477.
18. Сухарев А. Г. Курс методов оптимизации / А. Г. Сухарев, А. В. Тимохов, В. В. Федоров. – М. : Наука, 1986. – 328 с.

### Анотація

У статті викладені методика, основні принципи та рівні технологічного прогнозування параметрів технології реконструкції об'єктів промислового та цивільного призначення.

**Ключові слова.** Прогнозування, методика, технологічні параметри, реконструкція.

### Annotation

The article describes the technique, basic principles and levels of technological forecasting technology parameters reconstruction of industrial and civil purposes.

**Keywords.** Forecasting methodology, process parameters, reconstruction.