

[001.8:629.5.03-8-192]

О ПРИМЕНЕНИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОБЛЕМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

(В порядке обсуждения)

Канд. техн. наук, доц. А.И. СКИБА

Проблема повышения функциональной надежности рассмотрена с позиций системного подхода и теории циклов. Определена взаимосвязь между инновационными свойствами систем, их надежностью, технической и экономической эффективностью.

Высказано предположение о возможности моделирования системного эффекта надежности и эффективности судовых энергетических комплексов.

The problem of functional reliability growth is considered from positions of a system approach and the theory of cycles. The correlation between innovative properties of systems, their reliability, engineering and economic efficiency is defined.

It is come out with the conjecture of an opportunity of system effect imitation concerning reliability and the efficiency of energy complexes on ships platforms.

Проблемам повышения эффективности и надежности судовых энергетических комплексов (СЭК) посвящены исследования многих авторов — известных отечественных и зарубежных специалистов [1—10]. Полученные результаты в большинстве случаев представляют несомненный интерес как с теоретической, так и с практической точек зрения. Однако при их проведении не всегда в полной мере учитываются взаимосвязи изучаемых объектов научно-производственной и организационно-технической системами высшего порядка. В итоге решаемая проблема порой «выхватывается» из общей структуры внутрисистемных и межсистемных связей, при этом не учитываются динамика и взаимообусловленное влияние многочисленных факторов. Разрозненные результаты достаточно статичны, не увязываются между собой, а потому снижается их научная и практическая ценность.

По нашему мнению, основная причина заключается в междисциплинарном отрыве части проводимых исследований от общей концепции системного научного и методологического подхода. В связи с этим нами сделана попытка рассмотрения обозначенной проблемы с позиций теории инноваций И. Шумпетера и Г. Менша, а также диффузионно-волновой теории научно-технического прогресса, изложенной в работах А.И. Анчишкина, Н.Д. Кондратьева, Ю. Яковца, С. Меньшикова.

Под инновационной деятельностью в процессе разработки, освоения и реализации научно-технических нововведений понимаются виды деятельности, непосредственно связанные с получением и воспроизводством новых научных, научно-технических знаний и их материализацией в виде технических систем различного уровня сложности. В качестве одной из таких систем мы рассматриваем СЭК.

Технические, а соответственно, и экономические параметры систем зависят, в первую очередь, от типа заложенных в них инноваций.

Радикальные (или базовые) инновации, в основе которых лежат материализованные результаты фундаментальных академических исследований, зарождают продолжительную по длительности и мощную по амплитуде волну «жизненного» цикла системы (ЖЦС).

Основанные на новых физических принципах и законах технические системы стремительно вытесняют устаревшие аналоги, длительное время дававшие значительный народнохозяйственный эффект.

Крупные инновации, созданные на этапе прикладных исследований в стенах отраслевых научно-исследовательских институтов и научно-исследовательских секторов крупных университетов, позволяют распространить результаты фундаментальных исследований в отраслевой среде и адаптировать их применительно к ее особенностям.

Улучшающие инновации (в основном результаты целевых опытно-конструкторских работ) создаются на базе крупных проблемных лабораторий, а также конструкторских и объединенных конструкторских бюро (КБ и ОКБ). Улучшающие инновации позволяют главным образом улучшить основные эксплуатационные характеристики базовой модели, а также разработать и создать образцы следующих поколений и модификаций.

Так называемые **псевдоинновации** обычно имеют целью расширение ассортимента создаваемых моделей без существенных изменений их технических и эксплуатационных характеристик.

Таким образом, продолжительность жизни системы определяется, в первую очередь, степенью новизны и уникальности технических и технологических решений, лежащих в ее основе. Отсюда закладываются технические и эксплуатационные характеристики системы, определяющие ее эффективность и возможности дальнейшего совершенствования на различных стадиях ЖЦС.

Техническая эффективность системы — это несколько основных групп показателей, характеризующих:

а) **общие технические** показатели — общий к.п.д. системы, достигнутый за счет повышения параметров термодинамического цикла, утилизации тепловой энергии, применяемых технологических, конструктивных и компоновочных решений;

б) **удельные технические** показатели — энерговооруженность, удельный расход топлива и смазочных материалов, материалоемкость;

в) **эксплуатационные** показатели коэффициент технической исправности системы, средняя продолжительность и объем плановых ремонтно-восстановительных работ, продолжительность межремонтных периодов, в течение которых сохраняется нормальное либо допустимое состояние систем.

Перечисленные эксплуатационные показатели — это производные от одного из основных показателей технической надежности системы, определяемой вероятностью безотказной работы, параметром потока отказов и наработкой на отказ.

Экономическая эффективность системы — это группа показателей, включающих рентабельность и оборачиваемость основного и оборотного капитала, период окупаемости инвестиций, долю затрат на техническое обслуживание и ремонт в их общем объеме.

В то же время оценить экономическую эффективность системы можно по продолжительности фазы зрелости и амплитуде (высоте) кривой ЖЦ. Таким образом, с одной стороны, экономическая эффективность может быть определена в виде абсолютной величины достигнутого эффекта от эксплуатации данной системы (например, величина чистой прибыли, занимаемая доля рынка), с другой, как конкурентоспособность системы. Дополнительными показателями являются крутизна кривой на участке роста и относительная продолжительность фазы зрелости, достигнутая за счет семейства модификаций. Применительно к СЭК эти показатели характеризуют быстроту внедрения и распространения базовых технических инноваций, а также широкое признание моремским транспортным сообществом новизны и совершенства созданной системы. Другими сло-

вами, показатели экономической эффективности представляют собой отношение достигнутого экономического эффекта в виде прибыли, объема производства к затратам, вызвавшим возникновение данного эффекта.

На этапе эксплуатации и ремонта эффективность системы зависит от состава, качества и взаимодействия ее элементов и способствующих факторов. Одним из таких элементов, выполняющих роль фактора и определяющих функциональную надежность системы, является человек.

Взаимосвязь экономической и технической эффективности очевидна. Повышение технической эффективности систем направлено, в первую очередь, на улучшение экономических показателей ее использования (это основное условие). Таким образом, получение дополнительных экономических преимуществ может быть достигнуто, в первую очередь, за счет использования наиболее совершенных, надежных и дешевых в эксплуатации технических систем.

В то же время, создание и последующая эксплуатация сверхвысокоэффективных технических средств в ряде случаев может оказаться экономически нецелесообразной, поскольку, например, затраты на создание будут слишком высоки и не смогут окупиться. Другими словами, погоня за излишним качеством не всегда оправдана. Отсюда основной задачей является поиск оптимального соотношения экономической и технической эффективности разрабатываемых либо уже используемых систем на всех этапах и фазах их жизненного цикла.

Жизненный цикл системы (ЖЦС) — неразрывно связанные и взаимообусловленные этапно-фазовые переходы системы из одного количественного и качественного состояния в другое на протяжении определенного периода времени.

Этапы ЖЦС — это а) НИР; б) проектирование; в) опытно-конструкторские и технологические разработки; г) опытное производство и натурные испытания; д) серийное производство; е) эксплуатация, включающая обслуживание, ремонт и модернизацию; ж) утилизация. При этом каждый этап проходит последовательно следующие **фазы**: — зарождение — рост — зрелость (пик) — спад.

Смена фаз ЖЦС происходит в момент перехода большинства составляющих ее элементов с одного этапа ЖЦ на другой. В частности, применительно к сфере водного транспорта окончание этапа поисковых НИР в элементе, условно называемом «научно-исследовательский комплекс», и начало серийного выпуска зарождает фазу роста технической системы, а ее массовая эксплуатация на сериях судов означают переход в фазу зрелости (рис. 1).

Как видно из рис. 1, вся система в целом проходит фазу зарождения на этапе ОКР, роста на этапе начала серийного производства, зрелости на этапе эксплуатации и, наконец, спада на стадии утилизации.

Завершение ЖЦС-системы происходит на последнем этапе, когда наступает необходимость либо ее дальнейшей модернизации, позволяющей создать систему с улучшенными эксплуатационными, экологическими или иными характеристиками¹, либо ее утилизации. Проведение модернизации позволяет, во-первых, «задержаться» в фазе зрелости за счет вносимых в систему конструкторских и технологических усовершенствований. Во-вторых, за счет этого происходит улучшение экономических и эксплуатационных характеристик. В-третьих, в течение достаточно длительного периода времени кон-

¹ Например, во исполнение решений международных конвенций о предотвращении загрязнения окружающей среды, обеспечении безопасности, повышением мировых цен на нефть, в связи с постепенной утратой конкурентных преимуществ, обусловленных моральным старением.

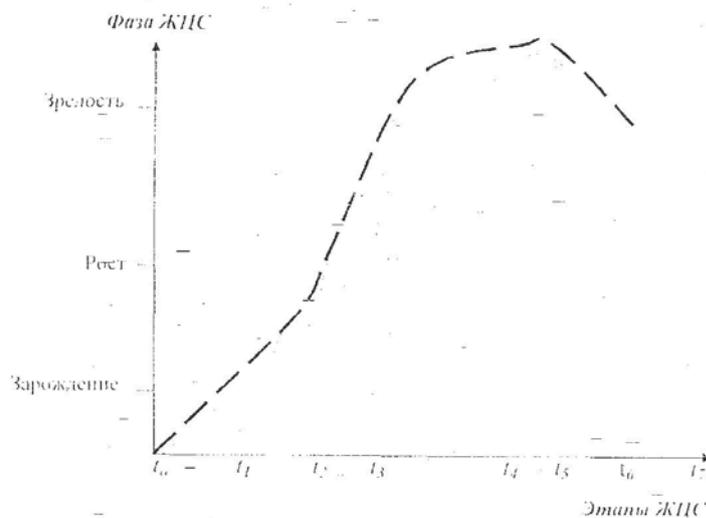


Рис. 1. Жизненный цикл судового энергетического комплекса как сложной системы: $t_0 - t_1$ — поисковые исследования; $t_1 - t_2$ — опытно-конструкторские разработки; $t_2 - t_3$ — опытное освоение; $t_3 - t_4$ — промышленное освоение; $t_4 - t_5$ — эксплуатация; $t_5 - t_6$ — модернизация; t_6 — утилизация

курентоспособность системы поддерживается на достаточно высоком уровне за счет «выжимания» из базовой модели всего потенциала, заложенного учеными и конструкторами при разработке и создании системы. Другими словами, количество и радикальность модернизаций системы определяются радикальностью инноваций, лежащих в ее основе.

Целесообразность и оптимальный момент начала модернизационных работ (либо утилизации) системы определяются на основании прогнозных экономических расчетов уже на стадии получения первых данных о результатах ее серийной эксплуатации.

Принципиально важно то, что фазовые переходы, по сути, отражают изменения *количественных* характеристик системы, а этапные переходы есть не что иное, как дискретные изменения *качественного* состояния системы.

Завершение этапно-фазового цикла ведет к скачкообразному «технологическому разрыву», приводящему к зарождению ЖЦ новой системы, основанной на новых научных подходах, технологиях и принципах.

Динамику изменения состояния системы определяют четыре основных фактора:

- воздействие факторов внешней среды, т.е. систем высшего порядка;
- внутренний потенциал составляющих ее элементов;
- соответствие (синхронность) их фаз жизненного цикла;
- прочность и характер межэлементных и межсистемных связей.

Нахождение элементов системы в разных фазах ЖЦ приводит к общему разбалансу и исключает возникновение положительного эффекта внутрисистемного взаимодействия. В таком случае параметры, характеризующие рост и зрелость системы, либо отсутствуют вообще, либо имеют неудовлетворительные значения. Отсюда наивысшая техническая и экономическая эффективность разрабатываемой системы достигается при осознанном совмещении (синхронизации) этапно-фазовых характеристик элементов системы с параметрами внешней системы высшего уровня. Возникающий в результате этого своеобразный «резонанс» способен сформировать в кратчайший срок системный эффект мультипликативного типа.

Обоснование данной точки зрения с позиций волновой теории дает основание считать, что регулирование фазовых и этапных характеристик элементов системы путем их

организованного взаимодействия, упорядочения распорядительных, финансовых и информационных потоков делают возможной фазовую синхронизацию волновых характеристик элементов организационно-технической системы. При этом совпадение фазовых частотных характеристик (под частотой понимается продолжительность развития S-образного процесса) элементов технической системы с аналогичными характеристиками организационной среды вызывает *резонансный* эффект.

Для придания этому процессу управляемого и прогнозируемого характера необходимо установить основные зависимости, определяющие условия возникновения данного эффекта.

В качестве определяющего параметра могут быть выбраны разные по сути количественные либо качественные параметры. С одной стороны, цикл жизни может быть описан показателем кумулятивного числа как возникших, так и, что особенно важно, *прогнозируемых* отказов. С другой стороны (и это будет тоже верно, особенно с точки зрения экономической целесообразности), изменениями прибыли и удельных затрат на эксплуатацию и ремонт рассматриваемого объекта. Однако в любом случае мы имеем дело с некой общей закономерностью, поддающейся описанию и всестороннему анализу.

Учитывая рассмотренный ранее фазовый характер ЖЦС, с условной долей упрощения можно представить ее в виде функции вида

$$Y = a + bX + cX^2 - dX^3, \quad (1)$$

где Y — выбранный параметр ЖЦС, X — время; a , b , c , d — коэффициенты, характеризующие воздействие факторов внешней и внутренней среды. Это могут быть, в частности, первичные и текущие затраты, человеческий фактор, качество смазочных материалов и топлива, конструктивные и технологические качества, влияние перегрузок, температура внешней среды, общее техническое состояние. В этом случае общий вид кривой ЖЦС (к примеру СЭК), определяемый изменением дохода или затрат судовладельца на эксплуатацию и ремонт судна, будет иметь вид, показанный на рис. 2.

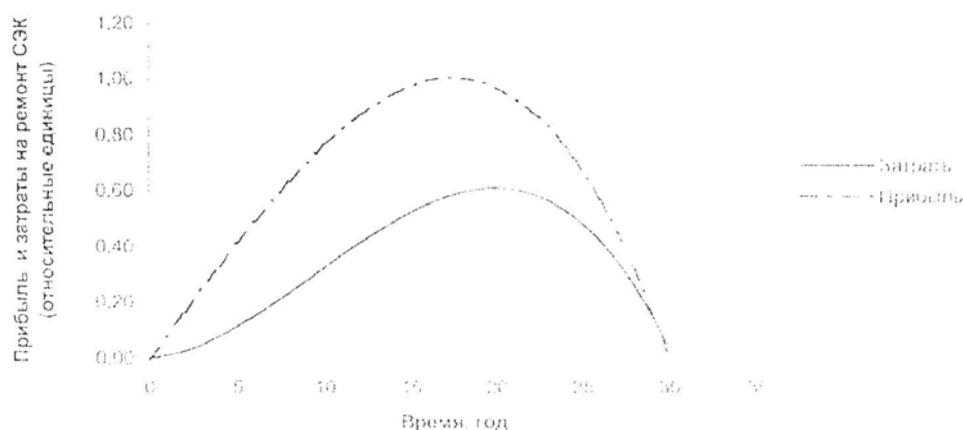


Рис. 2. Изменение прибыли и затрат на ремонт и обслуживание СЭК в течение его жизненного цикла

Представленные на рис. 2 графические зависимости построены на основе предложенной выше зависимости (1) и в общем виде отражают жизненный цикл СЭЖ с точки зрения изменения экономических показателей. При их построении не учтены колебания тарифов на морские перевозки, размеры фрахтовых ставок, изменения мировых цен на топливо, а также стратегия и качество управления конкретным судовладельцем.

Фазу роста характеризуют увеличение поступающих платежей за перевозку грузов и фрахт. Синхронно с ней возрастают затраты на поддержание технического состояния СЭЖ в исправном и работоспособном состоянии.

С истечением календарного срока службы судовладелец, руководствуясь соображениями рациональности, сокращает расходы на технический менеджмент и стремится «дотянуть» судно до списания или продажи, «выжимая» из него остатки технического ресурса и надежности.

Площадь, ограниченная этими кривыми, представляет прибыль судовладельца. В соответствии с основными положениями теории циклов именно динамика изменения прибыли и определяет фазы ЖЦС (рост, зрелость, спад).

В то же время, цикл жизни системы может быть интерпретирован с точки зрения теории надежности. Так, вероятность отказов элементов системы (другими словами, величина, обратная вероятности безотказной работы) в процессе физического износа имеет вид стремящейся к единице асимптотически возрастающей функции. Рассмотрим подробнее эти две точки зрения.

1. Исходя из системного понимания цикла жизни объекта и подчинения всех составляющих его элементов приведенной выше общей зависимости вида (1) представляет интерес, во-первых, определение значений и функционального смысла и значений коэффициентов a , b , c , d , во-вторых, нахождение условий одновременной максимизации значений функции Y каждого элемента системы. Наконец, самое сложное — это определение типа возникающего системного эффекта — аддитивный, мультипликативный, кумулятивный или какой-либо иной.

Функция достигает своего максимума, когда ее первая производная становится равной нулю, т.е. $b + 2cX - 3dX^2 = 0$. Тогда решение квадратного уравнения относительно положительного корня даст ответ, при каком значении X функция принимает максимальное значение. Следовательно, в нашем случае системный эффект, равный максимальному значению Y_{\max} , определяется путем нахождения одновременно достигаемого максимума функций Y_i в момент времени X всеми элементами системы при различных значениях коэффициентов a_i , b_i , c_i , d_i .

2. Другой подход, о котором было упомянуто выше, вероятностный. Как известно, вероятность безотказной работы системы в течение периода времени t определяется уравнением

$$P(t)_{\text{безотк}} = \prod_{i=1}^n a_i - \prod_{i=1}^n b_i x + \prod_{i=1}^n c_i x.$$

Отсюда вероятность возникновения отказа системы будет равна

$$P(t)_{\text{отк}} = 1 - \left(\prod_{i=1}^n a_i - \prod_{i=1}^n b_i x + \prod_{i=1}^n c_i x \right).$$

В то же время вероятность безотказной работы системы может быть выражена как

$$P(t)_{\text{отк}} = \sum_{i=1}^n a_i e^{-\sum_{i=1}^n b_i t}, \quad \text{где } \Sigma a_i \text{ и } \Sigma b_i \text{ — обобщающие коэффициенты, учитывающие влияние факторов, перечисленных выше.}$$

Как видно из рис. 3, восходящая ветвь графика наглядно отражает активную часть жизненного цикла системы. С учетом асимптотического характера функции вероятности $P(t)$ определение ее максимума может быть найдено при условии введения некоторого нормативного предельного значения $P(t)_{\text{отг. предел}} = P(t)_{\text{max}}$.

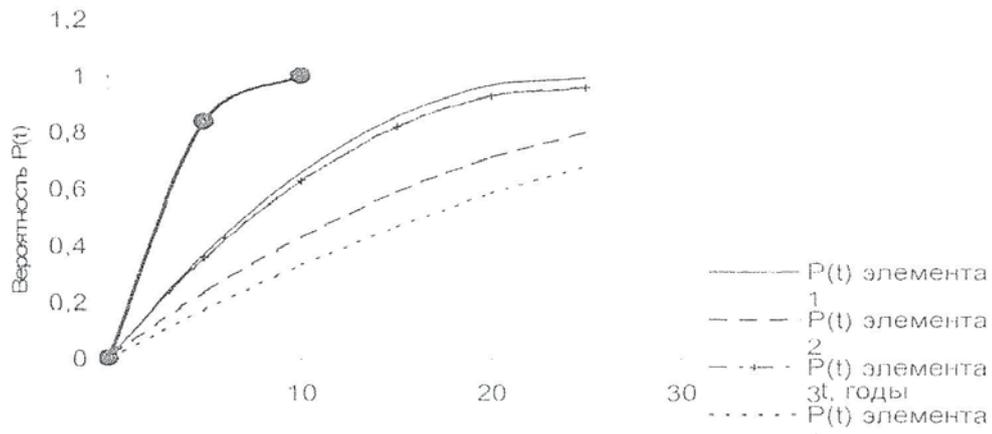


Рис. 3. Цикл жизни системы как изменение вероятности отказа

Если же задаться некоторыми эталонными промежуточными значениями $P(t)_{\text{пр1,2,3...p}}$ то можно определять и промежуточные состояния как самой системы, так и ее элементов. В этом случае появляется возможность интерпретировать $P(t)_{\text{пр1,2,3...p}}$ как момент смены фаз ЖЦ, либо его завершения, а следовательно, и прогнозируемую необходимость проведения ремонтов, модернизации, о чем говорилось ранее.

Таким образом, если задаться смыслом и значениями коэффициентов, входящих в приведенные выше уравнения, представляется вполне возможным с определенной степенью достоверности решить лишь вторую, наиболее простую часть общей задачи. При этом необходимо, чтобы выбранные коэффициенты учитывали влияние факторов внешней и внутренней среды: условий эксплуатации; затрат на обслуживание и ремонт; качества обслуживания и ремонта и их соответствия фактическому состоянию; конструктивной и технологической надежности.

Относительно же третьей части проблемы, т.е. метода определения максимума всей системы в целом, ответа пока нет. Для каждого индивидуального случая необходимо либо суммирование внутрисистемных эффектов межэлементного взаимодействия, либо их перемножение с учетом факторов воздействия изменяющейся внешней среды, либо какой-то иной путь. При этом важно представлять характер изменения этих коэффициентов во времени и с переходом на следующий этап ЖЦС, степень влияния на них внешней среды. Однако это возможно лишь при условии формализации межэлементных связей, т.е. определения их прочности, однозначности и взаимного влияния.

В качестве примечания следует отметить, что для простых систем, имеющих параллельные связи с общим выходом, в отдельных случаях применим аддитивный метод (например, суммарный расход нескольких ЦН, суммарное сопротивление нескольких резисторов). В системах, имеющих последовательные связи, суммарный эффект может быть определен путем перемножения значений выходных параметров (например, вероятность наступления ожидаемого события во всех сериях опытов).

² Имеется в виду нормальное, допустимое либо недопустимое.

Однако для сложных систем, связанных с воздействием многочисленных стохастических факторов макросреды, однозначно определить характер и метод оценки системного эффекта невозможно.

Выводы

1. Количественные и качественные характеристики СЭК как сложных технических систем определяются потенциалом заложенных в них базовых инноваций. Изменение абсолютных и относительных показателей технической и экономической эффективности СЭК, обладающих достигнутым уровнем новизны и технического совершенства, определяет периодичность этапно-фазовых переходов, в совокупности составляющих ЖЦС.

2. Внутри каждого элемента системы с разной интенсивностью происходят аналогичные этапно-фазовые изменения, вызываемые воздействием факторов как внешней, так и внутренней среды. Большинство этих факторов в одних случаях являются управляющими, в других — управляемыми. Совмещение фаз роста жизненных циклов сопряженных элементов системы вызывает мультипликативный системный эффект, значительно превышающий по величине обычное состояние системы.

3. Синтезируя основные положения теории систем, инновационной теории научно-технического прогресса и теории циклов, можно предположить, что смоделированный указанным образом системный эффект межэлементного взаимодействия имеет природу, близкую к резонансной.

4. Для моделирования этого явления и придания ему прогнозируемого и управляемого характера необходимо задаться вопросом: что считать достигнутым системным эффектом, каковы его параметры и критериальные значения. При прогнозировании системного эффекта должны учитываться результаты факторного анализа стохастических проявлений внешней среды и их воздействия на связи и поведение каждого элемента системы.

5. В контексте рассматриваемой проблемы основной целью применения системного подхода является разработка и обоснование методов формирования в отраслевой транспортно-среды системного эффекта максимизации технической, экономической эффективности и эксплуатационной надежности СЭК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анчишкин А. Н. Наука-техника-экономика. — М.: Экономика, 1986.
2. Башуров Б. П. Пути совершенствования технической эксплуатации вспомогательного оборудования энергетических установок судовых транспортных средств: Монография. — Новороссийск, НГМА, 2002.
3. Глазьев С. Ю., Львов Д. С., Фетисов Г. Г. Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы центрального регулирования. — М.: Наука, 1992.
4. Гринчев Т. П. Планирование «жизненного цикла» промышленной продукции. — Л.: ЛГУ, 1980.
5. Меньш Г. Технологический пат / Долговременные тенденции в капиталистическом производстве. Отв. ред. и сост. Р. М. Энгов, Н. А. Макашова. — М.: 1985.
6. Николаев В. И., Брук В. М. Системотехника: методы и приложения. — Л.: Машиностроение, 1985.
7. Шостак В. П., Гершаник В. И. Имитационное моделирование судовых энергетических установок. Л.: Судостроение, 1985.
8. Шумпетер И. Теория экономического развития. — М.: Прогресс, 1982.
9. Яковенко Е. Г., Басе М. И., Махров Н. В. Циклы жизни экономических процессов, объектов и систем. — М.: Наука, 1991.
10. Яковец Ю. В. Ускорение научно-технический прогресса: теория и экономический механизм. М.: Экономика, 1988.