



# Формализованный подход к оптимальному внедрению комплекса технических средств



Татьяна ПОПОВА



Александр ПОПОВ

*Татьяна Александровна Попова<sup>1</sup>,  
Александр Петрович Попов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Российский технологический университет  
(МИРЭА), Москва, Россия.*

<sup>2</sup> *Российский университет транспорта, Москва,  
Россия.*

✉ <sup>2</sup> [par60@bk.ru](mailto:par60@bk.ru).

## АННОТАЦИЯ

Исследование относится к области автоматизации технологической подготовки производства в транспортном машиностроении. Разработана концепция выбора оптимальной модели проектирования комплекса технических средств системы управления на автоматизированном производстве. Изучены факторы, характеризующие динамику процессов. Составлены соответствующие математические модели, учитывающие стоимостные характеристики и экономическую целесообразность ввода комплексных технических средств.

Основная цель данной работы сводится к учёту всех имеющих вес параметров, в том числе динамики технико-экономических процессов. Показано, что стоимостные характеристики напрямую являются показателями экономической эффективности внедряемого комплекса технических средств.

Методически данная работа выполнена на основе экономико-математического анализа по внедрению комплекса технических средств на производственном предприятии транспортно-машиностроительной отрасли с учётом обобщения ранее предложенных в исследованиях подходов.

Для наиболее точного определения конечной стоимости определённого варианта изделия, необходимо учитывать все факторы проектных решений. На основании этих данных строится модель стоимостных характеристик изделий, анализируя которую возможно произвести выбор оптимальной конструкции изделия, оптимальных узлов с конкретными комплектующими и конкретными показателями качества. Это позволяет получить

оптимальный технологический вариант проектного решения на производстве.

Предложена методика поиска оптимального производственного цикла при внедрении системы автоматизированного производства. Предлагается учитывать потери, связанные с временным замораживанием фондов, в том числе показано, что необходимо выполнять свёртку критериев оптимизации. Для формализации процесса принятия оптимальных решений также предлагается согласовывать выпускаемую продукцию и потребности рынка. Кроме того, в методологию поиска необходимо включать поиск оптимальной группы работников, отвечающих за выполнение конкретных узконаправленных задач, что позволит повысить показатели качества автоматизированного производства с внедрённым комплексом технических средств (КТС).

С целью максимального сокращения времени, затрачиваемого на весь цикл ввода в эксплуатацию изделия, начиная с этапа разработки и заканчивая получением готового продукта, требуется форсировать проведение опытно-конструкторских работ. Это возможно осуществить за счёт увеличения производственных мощностей, а также благодаря сокращению времени частных циклов существования конструкции.

Несмотря на то, что модель становится переизбыточной, авторы считают необходимым введение дополнительных элементов для учёта всех нюансов, способствующих выбору наилучшего решения в части оптимизации, что позволит определить полную экономическую эффективность комплекса.

**Ключевые слова:** транспортное машиностроение, комплексные технические средства (КТС), стоимостные характеристики, оптимизация технологических процессов.

*Для цитирования:* Попова Т. А., Попов А. П. Формализованный подход к оптимальному внедрению комплекса технических средств // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 45–52. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-5>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**

## ВВЕДЕНИЕ

Для любого машиностроительного и авиастроительного предприятия остро стоит проблема сокращения цикла конструкторско-технологического производства. В век информационных технологий развитие автоматизации производства является одним из самых приоритетных направлений. Однако многие инженерные задачи по-прежнему отличаются своей сложностью, и быстро автоматизировать весь технологический процесс не представляется возможным, поэтому актуальна поэтапная формализация порядка производственных маршрутов.

*Целью* исследования является разработка методики выбора оптимальных технических средств, внедряемых в производственный комплекс для получения оптимальных технических и экономических показателей с учётом изменчивости технико-экономических процессов в зависимости от влияющих внешних и внутренних производственных факторов.

Критерием внедрения новой технологии или научно-технологического решения является увеличение эффективности [1] производства, причём как с технической, так и с экономической точки зрения.

Многочисленные исследования, в том числе за рубежом, направленные на поиск оптимальных решений обеспечения технологичности, сводятся к тому, что внедрение инноваций, традиционно рассматриваемых в литературе, имеет множество подклассов. Для внедрения новых технологических подходов в уже существующие производственные процессы либо разработки новых предложений для принципиально новых продуктов требуется тщательное стратегическое планирование [2]. Внедрение комплекса технических средств (КТС) позволяет произвести систематизацию в вопросах управления проектами, а также обеспечить контроль качества после введения тех или иных инновационных предложений.

*Метод*, применяемый для выявления оптимального полного производственного цикла, сводится к анализу динамики расходов и доходов.

Ряд работ, в частности научно-исследовательский проект [3] венгерских разработчиков, направленный на иссле-

дование эффективного применения информационно-коммуникационных технологий, показывает, что применение комплексных технических решений с поддержкой их принятия помогает предприятиям справиться с проблемами неопределённости и сложности, повысить свою эффективность.

Гипотеза, что интенсификация работ может привести к сокращению полного производственного цикла изделия была подтверждена математической моделью, ранее представленной авторами в [4]. При этом было показано, что такой подход может привести к снижению эффективности вкладов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Общие подходы

Разработанный метод оценки стоимостных характеристик содержит в себе ряд допущений, при этом нельзя не учитывать, что вектор качества изделия определяется через многомерную техническую составляющую производственного процесса. Естественно, что внедрение принципиально новых решений позволит расширить представление о нахождении оптимального производственного цикла.

Опираясь на предлагаемую методику, требуется определить те узлы или группы деталей, которые целесообразно заменить, либо, напротив, допустить преемственность существующих технических решений. Для точного определения стоимостных характеристик требуется учитывать, помимо выше названного, динамические параметры.

Факторы проектных решений не имеют чётко зависимой взаимосвязи, однако при учёте взаимосвязи элементов функций каждого производственного уровня они позволят прийти к разработке оптимальной системы.

При разработке принципиально новых КТС необходимо отталкиваться от базового варианта, внедряя инновации в слабые звенья и не затрагивая существующие и отлаженные производственные мощности. Унификация в данном вопросе актуальна. Моделирование показало, что внедрение кардинально новых и оригинальных кон-

структивных решений приводит к невозможности стандартизировать ни технологический процесс, ни сами КТС. Отказ от проверенных решений зачастую приводит к экономическому проигрышу вследствие затрат на производство новых узлов и элементов системы, потере времени и неоправданным перерасходам производственных средств, что, в свою очередь, может привести к срыву сроков по выпуску продукции и организационных затруднений, вызванных новым подходом к производственному циклу.

Информационные технологии в мировой практике являются неотъемлемым шагом для повышения качества производства деталей при уменьшении себестоимости и сроков освоения [5].

При реализации перспективных технологических процессов на предприятии экономический эффект достигается, прежде всего, за счёт экономии производственных ресурсов и увеличения продаж, таким образом достигается снижение себестоимости продукта.

Традиционно основным критерием, определяющим экономическую целесообразность внедрения КТС, являлись затраты. При анализе ценовых характеристик изделий и их узлов учитывались проектные, производственные и эксплуатационные расходы, применяемые к конкретному блоку технического обслуживания. В работе [4] показано, что на основании данных по стоимости только одного блока нельзя достоверно оценить показатели качества КТС.

Динамика производственных процессов определяется такими факторами, как моральное устаревание любого продукта и систем управления; скорость производства и ввод в эксплуатацию новых КТС. Эти факторы определяют эффективность разрабатываемых продуктов, и решения, принятые без их рассмотрения, могут быть далеки от рациональных.

Чтобы учесть положительный технологический прогресс при внедрении КТС, следует ввести множественные критерии, отвечающие за экономические показатели, при этом предлагаемые свойства затрат могут использоваться как синоним экономической эффективности.

## Предлагаемые методы и решения

Желание максимально сократить полный цикл изделия логично и является естественным следствием возникновения инноваций в проектных и технологических решениях. Вследствие этого, приступая к разработке новой версии КТС, нужно определить длительность совместного цикла существования инновационной системы. Данный параметр может быть определён лишь на основании выходных технических характеристик готового изделия.

На начальном этапе проектирования накопленный опыт должен ограничиваться ориентировочными оценками, основанными на статистических данных.

Существует универсальное предложение, которое способно стать ключом ко многим проблемам, связанным с моральным устареванием конструкции. Чтобы свести к минимуму время от этапа разработки до начала работы серии, необходимо уменьшить время на подготовительные циклы и сосредоточиться на росте производственных мощностей.

В работе [4] было показано, что «ускорение начальных этапов цикла может быть достигнуто в основном за счёт форсирования вкладов путём перемещения денежных средств и увеличения их размеров, а также за счёт более рациональной организации труда».

Расширение производственных мощностей приводит к сокращению жизненного цикла изделия в связи с укорачиванием производственного этапа, хотя в отдельных случаях это может привести к нарушению оптимального отношения спрос/предложение. Таким образом, становится возможным ввести различные серии КТС на производство с учётом оценки экономического эффекта от внедрения подобных инновационных подходов и оптимального времени для развития и реализации производства.

Анализируя ряд графиков доходов и расходов (рис. 1 [4]), можно говорить об экономической целесообразности принятия решений по внедрению КТС.

Кривая  $P(\tau)$  представляет собой график общих затрат для всех издержек, связанных с эксплуатацией как уже используемых КТС, так и внедряемых [6; 7]. Обобщённый фонд  $\Phi(\tau)$  определяется через интеграл



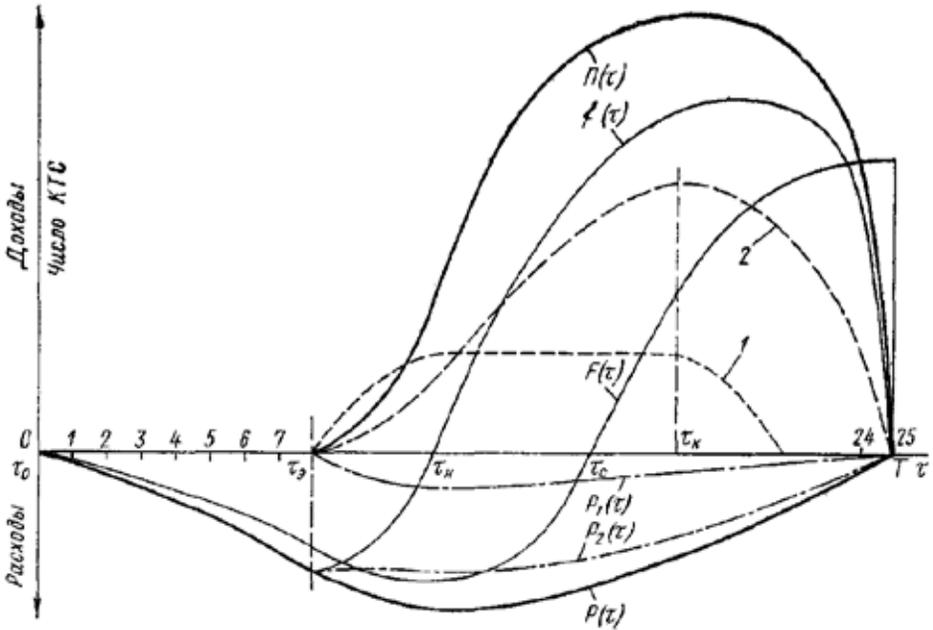


Рис. 1. Динамика расходов и доходов.  $P(\tau)$  – суммарные расходы, в том числе на эксплуатацию –  $P_1(\tau)$ ; на производство –  $P_2(\tau)$ ; 1 – выпуск КТС; 2 – число эксплуатируемых КТС [4].

экономического эффекта от начала полного цикла  $\tau_0$  до начала операции  $\tau$  для внедрённого КТС:

$$\Phi(\tau) = \int_{\tau_0}^{\tau} P(\tau) d\tau.$$

Экономический эффект (отдача)  $\Pi(\tau)$  определяется доходом, получаемым от эксплуатации конкретной серии КТС. Фондоотдача  $\Psi(\tau)$ , в свою очередь, представляет собой интегральное значение:

$$\Psi(\tau) = \int_{\tau_0}^{\tau} \Pi(\tau) d\tau.$$

Прибыль  $f(\tau)$  рассчитывается как разность экономических эффектов до и после введения КТС:

$$f(\tau) = \Pi(\tau) - P(\tau).$$

Экономический эффект, то есть превышение доходов над расходами, проявляется только после некоторого момента времени  $\tau$ , когда достигается равенство  $\Pi(\tau) = P(\tau)$ , что наглядно показано на графике (рис. 1). До этого момента, невзирая на наличие экономических ресурсов, имеют место быть замороженные фонды. Момент времени  $\tau_n$  является точкой отсчёта роста самокупаемости, когда часть замороженных фондов перекрывается,

превышая функцию полезности по функции затрат.

В некоторый момент времени  $\tau_c$  интеграл  $F(\tau) = \int f(\tau) d\tau$ , проходя через нулевую отметку, принимает положительное значение. Время  $\tau_c$  называют «временем самокупаемости». После этого начинается период, когда «чистая» прибыль от внедрения КТС возрастает. Размер прибыли определяется как:

$$\tilde{F}(\tau) = \int_{\tau_c}^{\tau} [\Pi(\tau) - P(\tau)] d\tau.$$

Однако такое определение экономической эффективности депозитов недостаточно верно указывает на полный объём экономических процессов, поскольку оно не учитывает значительные потери, связанные с временным замораживанием средств. В этой связи далее выполняется свёртка критериев и выполняется многокритериальная оптимизация. Более подробно данный подход освещён в работе [8].

С учётом временных задержек, обусловленных перемещением денежных средств, создаются фонды, которые позволяют получить прибыль, выражаемую в  $K$  процентах. Если затраты, произведённые на начальном этапе (как правило, в течение первого года), были заморожены на весь

срок использования серии КТС, то расчёт ведётся по  $n$  годам, так как удержание не приносит экономической прибыли:

$$\Delta\Phi = (1+K)^n \int_0^1 P(\tau) d\tau - \int_0^1 P(\tau) d\tau = \\ = [(1+K)^n - 1] \int_0^1 P(\tau) d\tau = [(1+K)^n - 1] \Phi_1,$$

где  $\Phi_1 = \int_0^1 P(\tau) d\tau$  – представляет собой замороженный вклад в течение первого года.

Равно как и для случая, когда на  $i$ -м году происходит заморозка либо существенное сокращение денежных средств, денежный фонд изменяется в сторону уменьшения на величину, определяемую как:

$$\Delta\Phi_i = [(1+K)^{n-i} - 1] \Phi_i.$$

Соответственно, если все средства, потраченные на создание и внедрение серии КТС, были заморожены на  $n$  лет (срок службы структуры), то общие потери с учётом убытков, понесённых вследствие исключения данных денежных средств из оборота, можно определить, как  $\Phi$ :

$$\Phi = \sum_{i=1}^n [(1+K)^{n-i} - 1] \Phi_i + \Phi_1 = \\ = \sum_{i=1}^n \Phi_i (1+K)^{n-i},$$

так как  $\sum_{i=1}^n \Phi_i = \Phi_T$  – общая величина затрат денежных средств с учётом различных неучтённых параметров, то окончательная величина будет определяться как:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (1+K)^{n-i} \int_{i-1}^i P(\tau) d\tau.$$

Для определения общего экономического эффекта уместно использовать непрерывную форму, а не отдельное выражение для  $\Phi$ . С этой целью разобьём календарный период (один год) на небольшие дискретные временные участки  $\Delta\tau$ , удовлетворяющие условию  $n_1 \cdot \Delta\tau = T$ , и составим предел:

$$\lim_{n_1 \rightarrow \infty} \sum_{i=\frac{T}{n_1}}^{\frac{n_1 \Delta\tau}{n_1}} (1+K)^{\frac{T}{n_1}(n_1-i)} P(\tau) \Delta\tau = \\ = \lim_{n_1 \rightarrow \infty} \sum_{i=\frac{T}{n_1}}^{\frac{T}{n_1}} (1+K)^{\frac{T}{n_1}(n_1-i)} P(\tau) \Delta\tau = \int_0^T (1+K)^{(T-\tau)} P(\tau) d\tau.$$

Обобщённо можно записать:

$$\Phi = \int_0^T (1+K)^{(T-\tau)} P(\tau) d\tau.$$

Для решения оптимизационной задачи по эффективному увеличению оборота денежных средств на организацию производства подробно рассмотрим структуру функции  $P(\tau)$ .

Согласно полной схеме производственного цикла, данную функцию  $P(\tau)$  можно представить через ряд составляющих, каждое из которых также определяется несколькими показателями. Например, составляющая стоимости «подготовительного этапа разработки новой серии» определяется четырьмя статьями расходов (всего 18 компонентов).

Следует отметить, что некоторые показатели частично перекрывают друг друга, и функцию  $P(\tau)$  можно переписать как:

$$P(\tau) = \sum_{i=1}^n r_i(\tau),$$

где  $r_i(\tau)$  – текущие расходы, приходящиеся на  $i$ -й частный цикл.

Расходы описываются финитной функцией, определённой только в ограниченной области  $\tau_i - \tau_j$ ;  $i, j \in \{1, \dots, n\}$ , которая в остальных интервалах принимает нулевые значения. Таким образом, сама функция  $P(\tau)$  определяется в диапазоне  $0-T$  и стремится к нулю за пределами этого интервала.

Нельзя не отметить, что интеграция электронно-вычислительных комплексов позволяет открыть новые горизонты в развитии любой отрасли промышленности.

Производительность многих современных продуктов (автомобилей, стиральных машин, роботов или станков) и их производство зависят от способности промышленности использовать достижения в области технологий и внедрять их на стадии проектирования как в продукты, так и в производственные процессы.

Такие производственные системы, в которые уже интегрированы КТС, а также в которых применяется междисциплинарный подход к инженерному проектированию, с технической и управленческой точек зрения становятся значительно конкурентноспособнее по отношению к своим предшественникам [9].

Определение каждого компонента, влияющего на затраты, возможно осуществить на базе статистических данных.

Возврат денежных средств, возможный после внедрения новой системы КТС, начинается с момента времени  $\tau_3$ . Очевидно,



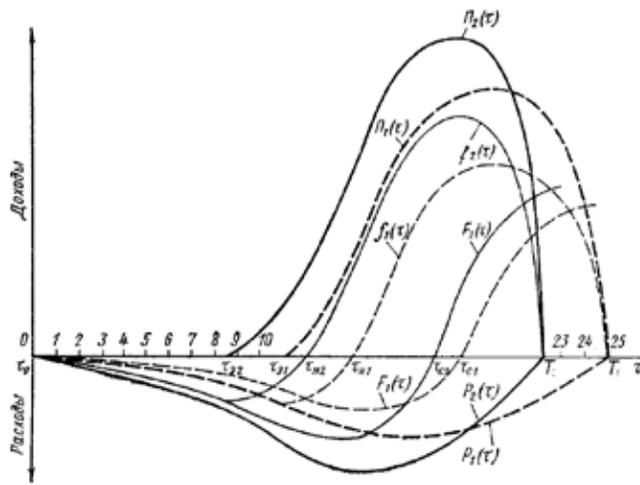


Рис. 2. Влияние интенсивности финансирования на эффективность КТС; индексы 1 соответствуют начальному варианту, индексы 2 – конкурирующему [4].

что возвратные деньги не могут сразу попасть в обращение и могут быть учтены лишь как возможная дополнительная прибыль. Доход определяется для функции  $f(\tau)$  в течение временного интервала  $\tau_3$  в процентах К до определённого момента Т.

Прибыль возможно определить через интегрирование каждой составляющей:

$$\phi(\tau) = \int_{\tau_0}^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} f(\tau) d\tau.$$

Зависимости  $\Phi(\tau)$ , как и  $\phi(\tau)$ , не являются новыми в вопросах описания затрат и относятся к традиционным формулам экономики предприятий.

Обобщённые функции  $f(\tau)$ , как и функция  $P(\tau)$ , состоят из ряда компонентов, которые являются наиболее важными, однако наиболее трудно формализованными. Истинная прибыль определяется функцией  $f(\tau)$  на промежутке  $\tau_3 - T$  и, равно, как и функция  $P(\tau)$ , на данном участке может быть представлена как:

$$F(\tau) = \phi - \Phi = \int_{\tau_0}^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} f(\tau) d\tau - \int_{\tau_0=0}^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} P(\tau) d\tau.$$

По отношению к затратам получаем:

$$g = \frac{\phi - \Phi}{\Phi} = \frac{\int_{\tau_0}^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} f(\tau) d\tau - \int_0^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} P(\tau) d\tau}{\int_0^{\tau} (1 + K)^{(T-\tau)} P(\tau) d\tau}.$$

Имея возможность рассчитать абсолютную стоимость и относительную стоимость «чистой прибыли», можно перейти к опре-

делению оптимальной системы интенсификации депозитов при организации производства с использованием новой серии КТС. «Решение об эффективности инновационного проекта принимается с учётом ценности всех учредительных приложений» [10].

Для удобства рассмотрения нескольких вариантов выпуска КТС (рис. 2) представим время существования конструкции при исходном варианте финансирования как  $T_1$  и суммарный фонд денежных средств базового варианта как  $\Phi_1$ .

Тогда, используя интегральный подход, можно записать:

$$\Phi_1 = \int_{\tau_0}^{T_1} (1 + K)^{(T_1-\tau)} P_1(\tau) d\tau,$$

где  $P_1(\tau)$  – расходы в первоначальном варианте;

$\Phi_1$  – суммарная величина затрат.

$$\phi_1 = \int_{\tau_0}^{T_1} (1 + K)^{(T_1-\tau)} f_1(\tau) d\tau.$$

Для модернизированного варианта перепишем выражения как:

$$\Phi_2 = \int_{\tau_0}^{T_2} (1 + K)^{(T_2-\tau)} P_2(\tau) d\tau$$

и

$$\phi_2 = \int_{\tau_0}^{T_2} (1 + K)^{(T_2-\tau)} f_2(\tau) d\tau,$$

где  $P_2(\tau)$  – производственные затраты для модернизированного производственного процесса (форсированный вариант).

Реальная прибыль в первом случае определяется как  $F_1 = \phi_1 - \Phi_1$ , для форси-

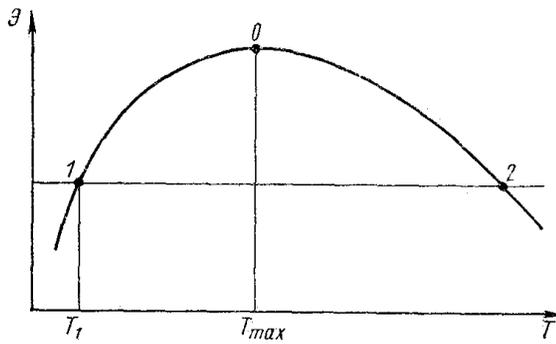


Рис. 3. Эффективность в функции интенсивности финансирования работ [4].

рованного варианта справедливо равенство  $F_2 = \varphi_2 - \Phi_2$ . Для анализа эффективности внесённых изменений проанализируем отношение показателей прибыли:

$$\bar{\vartheta}(\tau) = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} (1+K)^{(\tau_2-\tau)} f_2(\tau) d\tau - \int_0^{\tau_2} (1+K)^{(\tau_2-\tau)} P_2(\tau) d\tau}{\int_{\tau_1}^{\tau_2} (1+K)^{(\tau_2-\tau)} f_1(\tau) d\tau - \int_0^{\tau_2} (1+K)^{(\tau_2-\tau)} P_1(\tau) d\tau}.$$

В работе [4] ранее подробно приведён анализ статистических данных, где показано следующее: «функция  $\bar{\vartheta}(T)$  имеет вид, изображённый на рис. 3, и может быть аналитически представлена в виде отношения аппроксимирующих полиномов. Левая ветвь этой кривой (участок 1–0) означает, что при слишком большой интенсификации работ, приводящей к сокращению полного цикла, происходит снижение эффективности вкладов. Это объясняется следующим: для каждого технологического процесса существуют минимальные сроки проведения работ, которые при заданном уровне развития техники не могут быть практически уменьшены» [4].

В соответствии с графиком (рис. 3) очевидно, что чем больше временных затрат с меньшим финансированием, тем больше упорядоченности в алгоритме выполняемых задач. В случае снижения депозитов внедрение КТС существенно замедляется и приводит к дополнительным затратам, связанным с удержанием денежных средств и обесцениванием продукции за счёт морального устаревания изделий и технологических решений.

Все факторы, оказывающие прямое или косвенное воздействие на систему, учтены в функциях  $P_1(\tau)$ ,  $P_2(\tau)$ ,  $f_1(\tau)$ ,  $f_2(\tau)$ , для двух случаев: с уже применяемыми ранее КТС

и для форсированного варианта. Функции (рис. 2) определяются многочленами с одинаковой степенью для каждой соответствующей пары факторов, но с разными коэффициентами для полного временного цикла.

Как сказано в работе [4]: «Интегралы  $\Phi_2(T_2)$  и  $\varphi_2(T_2)$  имеют вид, аналогичный виду функций  $\Phi_1(T_1)$  и  $\varphi_1(T_1)$ ».

Вопросами оптимизации производственных процессов занимались многие учёные, например, Г. К. Горанский, Н. М. Капустин [11; 12]. Наиболее полно рассматривается внедрение шагов по применению КТС в трудах С. П. Митрофанова. Следует отметить, что показанный в его работе [13] технологический процесс представляет собой модель, которая включает готовые технологические решения, необходимые для эффективного применения современных информационных технологий к процедурам автоматизации производства в целом и процедурам подготовки технологического производства в частности. Подобные задачи также представлены в [14].

Схожая проблематика также освещалась в зарубежных работах [2; 15; 16], где была отмечена теоретическая связь между стратегической адаптацией, практикой управления инновациями и результатами бизнеса.

Ряд отечественных работ также показывает экономическую целесообразность применения инноваций и введения КТС в производство [17; 18].

В основе моделирования заложена необходимость первоначальных этапов по автоматизации и унификации параметров КТС, однако в реальных условиях подход к каждому конкретному запросу должен





быть не формализованным, а направленным на достижение наилучшего результата, что также отражается в работе [19].

## КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Произведён анализ экономической эффективности форсирования полного цикла технологического процесса автоматизированного производства.

Показан обоснованный выбор оптимального комплекса технических средств. С целью решения этих задач строится диаграмма полного цикла производства. В связи с комплексным подходом учитываются такие составляющие, как затраты на «подготовительную стадию освоения новой серии», экономическая полезность КТС и коэффициенты морального износа.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Макаренко С. И. Техничко-экономический анализ целесообразности внедрения новых технологических решений // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 1. – С. 278–287. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehniko-ekonomicheskiy-analiz-tselesoobraznosti-vnedreniya-novyh-tehnologicheskikh-resheniy/pdf>. Доступ 17.08.2020.
2. Sánchez, A., Lago, A., Ferràs, X., Ribera, J. Innovation Management Practices, Strategic Adaptation, and Business Results: Evidence from the Electronics Industry. *Journal of Technology Management & Innovation*, 2011, Vol. 6, Iss. 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242011000200002>.
3. Viharos, Zs. J., Monostori, L., Csongrádi, Z. An important aspect of a digital factory: Monitoring of complex production systems; WESIC 2003, 4<sup>th</sup> Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration; Miskolc, Hungary, May 28–30, 2003, pp. 363–370. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/publication/250068677\\_an\\_important\\_aspect\\_of\\_a\\_digital\\_factory\\_monitoring\\_of\\_complex\\_production\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/250068677_an_important_aspect_of_a_digital_factory_monitoring_of_complex_production_systems). Доступ 17.08.2020.
4. Попов А. П. Повышение эффективности проектирования системы управления технологическими процессами на основе оптимизации комплекса технических средств // Дис... канд. техн. наук. – МГТУ «Станкин», 2010. – 165 с. [Электронный ресурс]: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_004600152/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_004600152/). Доступ 17.08.2020.
5. Абдрашитов Р. Т., Абрамов К. Н. Повышение эффективности автоматизированных систем технологической подготовки производства // Вестник ОГУ. – 2000. – № 1 (4). – С. 65–70. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-avtomatizirovannyh-sistem-tehnologicheskoy-podgotovki-proizvodstva/pdf>. Доступ 17.08.2020.
6. Попов А. П., Попова Т. А. Преемственность при проектировании комплекса технических средств // Мир

транспорта. – 2014. – № 5. – С. 124–129. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/149>. Доступ 17.08.2020.

7. Ли Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление. – М., Наука, 1966. – 176 с.
8. Поезжалова С. Н., Селиванов С. Г., Бородкина О. А., Кузнецова К. С. Рекуррентные нейронные сети и методы оптимизации проектных технологических процессов в АСПП машиностроительного производства // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15 – № 5 (45) – С. 36–46. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekurrentnye-neyronnye-seti-i-metody-optimizatsii-proektnyh-tehnologicheskikh-protsessov-v-astpp-mashinostroitelno-proizvodstva/pdf>. Доступ 17.08.2020.
9. Bradley, D. A. *Mechatronics – Electronics in Products and Processes*. Chapman & Hall, 1993, 376 p.
10. Шалаев И. А., Харитонова А. А. Показатели оценки эффективности финансирования инновационных проектов // Вектор Экономки. – 2017. – № 11(17). – С. 41–49. [Электронный ресурс]: [http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2017/11/innovationmanagement/Shalaev\\_Kharitonova.pdf](http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2017/11/innovationmanagement/Shalaev_Kharitonova.pdf). Доступ 17.08.2020.
11. Горанский, Г. К., Бендерова Э. И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. – 1981. – 456 с.
12. Капустин, Н. М., Павлов В. В. и др. Диалоговое проектирование технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 287 с.
13. Митрофанов С. П. Научная организация серийного производства. – М.: Машиностроение, 1970. – 212 с.
14. Свирский Д. Н., Климентьев А. Л. Автоматизация принятия технологических решений в компактном производстве машиностроительной продукции // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. – 2010. – № 2. – С. 54–62. [Электронный ресурс]: [https://elib.psu.by/bitstream/123456789/1765/1/Svirkij\\_2010-2-p54.pdf](https://elib.psu.by/bitstream/123456789/1765/1/Svirkij_2010-2-p54.pdf). Доступ 17.08.2020.
15. Copeland, T., Koller, T., Murrin, J. Valuation: Measuring and Managing the Values of Companies. *Journal of Mathematical Finance*, August 18, 2014, Vol. 4, No. 4. [Электронный ресурс]: <https://www.pdfdrive.com/valuation-measuring-and-managing-the-value-of-companies-3rd-edition-e158622059.html>. Доступ 17.08.2020.
16. Jayani, Rajapathirana R. P.; Yan, Hui. Relationship between innovation capability, innovation type, and firm performance. *Journal of Innovation & Knowledge*, April 2018, Vol. 3, Iss. 1, pp. 44–55. DOI: 10.1016/j.jik.2017.06.002.
17. Шалаев И. А., Мишунина И. С., Покопцева С. А. Современный анализ и методы оценки финансовых рисков // Экономика и социум. – 2016. – № 12–2 (31). – С. 1677–1683. [Электронный ресурс]: <https://readera.org/sovremennyj-analiz-i-metody-ocenki-finansovyh-riskov-140117481>. Доступ 17.08.2020.
18. Кондратьев А. И. Совершенствование подготовки производства деталей машин на основе применения формальных оценок подобия проектных решений // Вестник Южно-Уральского Государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2016. – Т. 16. – № 3. – С. 36–43.
19. Гличев А. В. Экономическая эффективность технических систем. – М.: Экономика, 1971. – 270 с. ●

### Информация об авторах:

**Попова Татьяна Александровна** – преподаватель Российского технологического университета (МИРЭА), Москва, Россия, [tatiana241187@gmail.com](mailto:tatiana241187@gmail.com).

**Попов Александр Петрович** – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, [par60@bk.ru](mailto:par60@bk.ru).

Статья поступила в редакцию 23.12.2019, одобрена после рецензирования 19.08.2020, актуализирована 07.11.2020, принята к публикации 11.03.2021.