

УДК 66.013.8

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ,
СВЯЗАННЫХ С ОХРАНОЙ ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ****д-р техн. наук, проф. В.П. ИВАНОВ; В.А. ДРОНЧЕНКО**
(Полоцкий государственный университет)

Анализируется вопрос изменяющихся соотношений затрат на материалы, энергию, заработную плату и появления новых технических решений, требующий периодического пересмотра результатов оптимизации. Предложен способ выбора и обоснования технических решений, связанных с охраной труда и окружающей среды с учетом ограничений безопасности и требований эффективности, отличающийся наглядностью, эффективностью, комплексностью и универсальностью.

Ключевые слова: охрана труда, охрана окружающей среды, технические решения.

Введение. Организация производства требует разработки специалистами и принятия руководителями системы технических решений по достижению целей производства с реализацией этих решений в составе планирования и управления предприятием. Эта система решений обеспечивает ритмичный выпуск продукции или оказание услуг нормативного качества с необходимой производительностью при полном использовании производственной мощности предприятия, надлежащими условиями безопасного труда без загрязнения окружающей среды и с минимальным расходом производственных ресурсов. В системе технических решений различают ограничения и параметры оптимизации. Нормативное качество продукции или услуг с необходимой производительностью, безопасный труд работников (отсутствие случаев травмирования рабочих или ухудшения их здоровья) и работа предприятия без загрязнения окружающей среды являются ограничениями, т.е. показателями, которые должны быть обеспечены неукоснительно. Расход производственных ресурсов (материалов, энергии и труда) при этом служит параметром оптимизации, значение которого стремятся минимизировать.

Необходимость совершенствования выбора лучшего технического решения обусловлена большим объемом работ по подготовке производства и их влиянием на безопасность труда и защиту окружающей среды, требованиями уменьшения сроков и затрат на подготовку этого производства.

Методы исследования. *Техническое решение* – построение оптимальной структуры объекта или процесса. В качестве объектов выступают средства производства (технологическое оборудование и оснастка), а в качестве процессов принимают действия рабочих и работу оборудования. Время предстоящего использования технического решения соответствует амортизационному сроку службы оборудования – 6–10 лет.

Требования к техническому решению:

- содержание принципиально новых элементов;
- пригодность как для разработки средств производства, так и для разработки его процессов;
- возможность применения в смежных устройствах или процессах (модульность);
- обеспечение ограничений по выпуску продукции или оказанию услуг надлежащими условиями безопасного труда без загрязнения окружающей среды;
- экономическая эффективность.

Таким образом, технические решения, касающиеся безопасности труда и экологической безопасности, связаны с выполнением технологическими объектами заданной функции с наименьшими затратами труда, материалов и энергии. Основной показатель назначения средства технологического оснащения – выполняемые ими функции. В то же время этими функциями описываются технологический процесс, операция или ее часть. Это обуславливает общность подходов, с помощью которых описывают варианты их структур и находят лучшую из них. Однако большинство работ или не учитывает новизну и перспективность технических решений, или не рассматривает многоуровневость устройств и многооперационность процессов.

В данной работе использованы основы теории графов, динамического программирования и морфологического анализа.

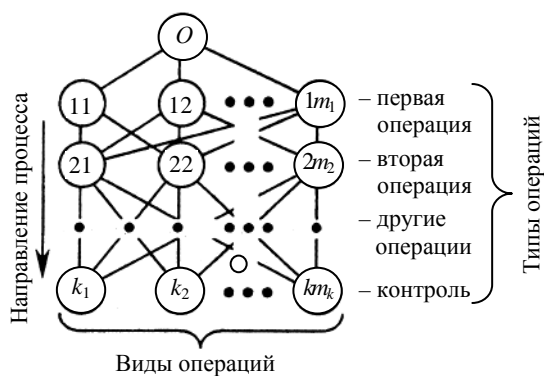
Основная часть. *Постановка задачи выбора технического решения, обеспечивающего безопасный труд и защиту окружающей среды.* Выбор безопасного и эффективного технологического процесса (устройства) основан на представлении различных сочетаний операций (механизмов), составляющих этот процесс (устройство), с поиском оптимального варианта с использованием процедуры математического программирования. Оценочный критерий (параметр оптимизации) технического решения – сумма затрат на подготовку процесса или создание устройства и затрат на их текущее обеспечение, отнесенных к выпуску единицы продукции или оказание одной услуги.

Постановка задачи структурного синтеза технического решения – из числа существенных его признаков образовать структуру, обеспечивающую безопасное выполнение заданной технологической функции с наименьшими приведенными затратами.

Существенными признаками технического решения являются составляющие его технологические переходы или элементарные механизмы, их связи и отношения между собой.

Модель решения. Стремление повысить эффективность решения поставленной задачи обусловило разработку моделей технических решений в виде графов и их оптимизацию. Здесь новизну решений определяет «морфологический анализ» [1; 2], рассматривающий на графах сотни или тысячи сочетаний составляющих операций или механизмов, среди которых обнаруживаются патентоохраняемые решения. Эффективность решений обуславливает применение динамического программирования.

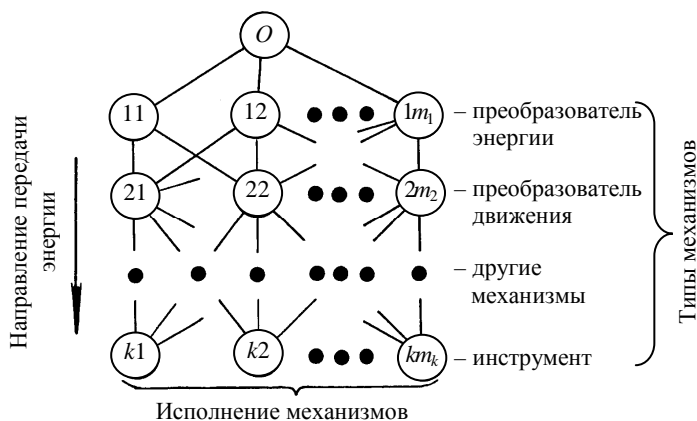
Различные сочетания операций, образующие технологический процесс, выбирают из графа (рис. 1), составленного из вершин и дуг. Каждый горизонтальный ряд вершин графа – это i -тое подмножество однотипных технологических операций ($i = 1 \dots k$). Операция первого типа представлена m_1 ее видами, операция второго типа – m_2 ее видами и т.д., а операция k -того типа (нижняя строка графа) – m_k ее видами. Виды технологических операций выбираются из учебников и справочников, логических и эвристических представлений о различных способах преобразования энергии и вещества, об использовании новых материалов и различных физических эффектов. В граф включают лишь те операции, которые обеспечивают установленные ограничения по безопасности труда, охране окружающей среды и производительности. Модель рассматривает все различные технологические операции как реально существующие, так и потенциально возможные, которые могут быть использованы в процессе. Длину каждой дуги графа определяют как затраты на подготовку и выполнение последующей операции, отнесенные к одному экземпляру (изделию) предмету труда.



1, 2, ..., k – типы операций; m_1, m_2, \dots, m_k – количество видов операций каждого типа

Рисунок 1 – Граф вариантов безопасного технологического процесса

Аналогично, различные структуры технического устройства описываются графом (рис. 2), множество вершин которого соответствует множеству элементарных механизмов, а множество дуг – приведенным затратам на создание и эксплуатацию последующего механизма. В граф включают лишь те механизмы, которые обеспечивают нормативную безопасность, заданные производительность и качество функционирования.



1, 2, ..., k – типы механизмов;
 m_1, m_2, \dots, m_k – количество видов механизмов 1-го, 2-го, k-того типа соответственно

Рисунок 2 – Граф вариантов средства технологического оснащения

Граф, построенный на идеях «морфологического анализа», состоит из k горизонтальных рядов вершин, каждый из которых представляет множество исполнений механизма одного вида. Большое количество вариантов устройства получают за счет различных сочетаний как известных, так и новых его частей.

Каждая составляющая технического решения необходима, а все вместе они достаточны для построения технологического процесса или создания технического объекта. Подмножество вершин, взятых по одной из каждого ряда графа, определяет один вариант решения. Множество таких вариантов W , составленных из конъюнктивно-дизъюнктивных связей «И – ИЛИ», определяется из выражения

$$W \subseteq \{(p_{11} \vee p_{12} \vee \dots \vee p_{1m_1}) \wedge (p_{21} \vee p_{22} \vee p_{2m_2}) \wedge \dots \wedge (p_{k1} \vee p_{k2} \vee p_{km_k})\}, \quad (1)$$

где p_{ij} – признаки.

Возможное количество вариантов решений равно произведению $m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_k$. Несовместимость некоторых частей решения между собой сокращает количество его вариантов и окончательно представляет их реальное количество.

Оптимизация технического решения заключается в следующем: из числа возможных типов и видов, составляющих решения, находят такую их последовательность, которая обеспечивает установленные ограничения по безопасности и производительности труда с наименьшими затратами. На стадии структурного синтеза преимущество отдают новым техническим решениям.

Оптимизация решения выражается в поиске кратчайшего пути из вершины O в одну из вершин нижнего яруса графа, а, соответственно, подмножество вершин на этом пути определяют содержание оптимального технического решения. Поскольку факторы и параметры оптимизации заданы в целочисленном виде, оптимальную структуру решения находят с применением динамического программирования. Процедура оптимизации заключалась в следующем [3]: в каком бы состоянии не находилась производственная система в результате определенного числа шагов, последующее управление на ближайшем шаге выбирают таким образом, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к минимальному расходу производственных ресурсов PP (в стоимостном выражении) на всех оставшихся шагах, включая данный:

$$PP_{i+1} = \min (\text{по всем вершинам графа}) [PP_i + PP_{(i+1)-1}], \quad (2)$$

где i – операции процесса; PP_{i+1} – расход производственных ресурсов при выполнении $i+1$ операций; PP_i – расход ресурсов при выполнении i операций при условии, что соответствующая часть процесса выбрана оптимальным образом; $PP_{(i+1)-1}$ – расход ресурсов при выполнении $(i+1)$ -той операции процесса.

Аналогично выполняют оптимизацию технического решения по выбору средства технологического оснащения.

Ограничения, касающиеся безопасности труда, исключают контакты движущихся (в том числе вибрирующих) частей устройств, электромагнитных полей, различных излучений, воздействия расплавов, кислот и щелочей, электрического тока с частями тела рабочего, вредных паров и аэрозолей – с его дыхательными путями. Ограничения, касающиеся охраны окружающей среды, требуют, чтобы отходы предприятия были неактивными и безопасными, т.е. переведены в стабильное состояние веществ, которые они имели до использования.

Требования безопасности труда и охраны окружающей среды должны быть учтены и приведены в технологической документации (в том числе в маршрутной и операционной картах, карте эскизов и технологической инструкции). Полноту отражения требований безопасности устанавливают с учетом особенностей технологического процесса и применяемых средств, норм и требований стандартов ССБТ, санитарных норм и правил и других документов, в которых изложены требования безопасности труда, утвержденных в установленном порядке.

Конкретное изложение требований безопасности в документах зависит: от вида опасных и вредных производственных факторов и характера их воздействия на работающих; от возможности пожара и взрыва при выполнении технологического процесса; от применяемых материалов, средств технологического оснащения и действий, выполняемых исполнителями.

Технологические документы подлежат утверждению после проверки наличия отражения в них требований безопасности. В документах указывают: средства индивидуальной защиты (спецодежда, спецобувь, защитные очки и др.) или обозначения (номера) комплектов средств индивидуальной защиты в соответствии с порядком, установленным в отрасли или на предприятии; средства коллективной защиты работающих, используемые непосредственно на рабочих местах (ограждения, защитные экраны, вен-

тиляционные устройства и др.); средства технологического оснащения, обеспечивающие безопасность труда (пинцеты и щипцы для удаления деталей из зоны обработки, крючки для отвода и удаления стружки и др.), которые не являются составной частью используемого оборудования или технологической оснастки, но применяются совместно с этими средствами технологического оснащения.

Расход производственных ресурсов на подготовку и выполнение одной технологической операции или создание технологического объекта включают капиталовложения в здания, оборудование, приспособления и инструмент, текущие затраты на амортизацию основных фондов, затраты на работу и поддержание (техническое обслуживание) и восстановление ресурса (ремонт) оборудования и приспособлений, стоимость материалов и энергии в объеме их норм расхода, заработную плату с начислениями и утилизацию отходов:

$$PP = \sum_1^k M_k C_k + \sum_1^n \mathcal{E}_n C_n + \sum_1^m \frac{t_{ш-к}}{60} \left(C_{ч.р} + C_{м-ч.о} + \frac{K_o k_o}{\Phi_{о.о}} \right), \text{ руб.}, \quad (3)$$

где M_k и C_k – норма расхода (кг, м³ и др.) и цена материала (руб./кг, руб./м³, др.) k -того вида соответственно; \mathcal{E}_n и C_n – норма расхода (Дж) и стоимость (руб./Дж) энергии n -го вида, соответственно; $t_{ш-к}$ – трудовой норматив времени (норма штучно-калькуляционного времени), мин; $C_{ч.р}$ – часовая ставка рабочего, руб./ч; $C_{м-ч.о}$ – стоимость машино-часа работы оборудования, руб./м-ч; K_o – капиталовложения в оборудование, руб.; k_o – доля капиталовложений, приходящихся на год эксплуатации оборудования, год⁻¹; $\Phi_{о.о}$ – годовой действительный фонд времени работы оборудования, ч/год.

Выбранные на графе направления движения из его вершин обозначают стрелками. Эти связи обуславливают оптимальные сочетания частей решения на предыдущих шагах с составляющими решения на последующем шаге. Расчеты при этом ведут от вершин нижнего их ряда к вершине O . В вершины графа вписывают значения Z_{i+1} .

Двигаясь в найденных направлениях из вершины O графа через одну из вершин каждого яруса графа, находят сочетание частей устройства или операций, которое при прочих равных условиях обеспечивает наименьшие затраты на реализацию технического решения. Соответствующее значение целевой функции читают в верхней вершине O графа.

Среди технических решений, синтезируемых графами, встречаются новые патентоохранные решения (не обязательно оптимальные).

Таким образом, рассматриваемый метод выбора технического решения (технологического объекта или процесса для его реализации) основан на учете многообразия освоенных и гипотетически возможных составляющих способов обработки изделий, удовлетворяет установленным ограничениям по безопасности, качеству и производительности и обеспечивает наименьшие затраты на свою реализацию. Если производственные возможности предприятия не позволяют внедрить предложенное решение, то путем исключения его неосуществимых признаков можно найти другое решение, наиболее близкое к оптимальному.

Результаты работы позволяют создать библиотеку лучших (оптимальных или близких к ним) технических решений для разных объемов выпуска продукции или оказания услуг различных видов.

Модульность технических решений заключается в создании процессов или средств из блоков (модулей), сочетание которых определяется конкретными задачами и условиями производства. Каждая модульная операция обеспечена соответствующим типовым оборудованием, приспособлениями, инструментами и средствами измерений. Модульный процесс объединяет в себе преимущества единичного процесса (учитывает особенности конкретной детали), типового процесса (сохраняет идею типизации на уровне обработки модуля поверхностей), группового процесса (объединяет разные детали в группы даже в единичном производстве) и придает процессу гибкость [4]. Основная особенность модульной специализации заключается в применении ограниченного количества модульных технологических операций к обработке неограниченного количества деталей. Модульная технология позволяет внедрить поточную организацию работ в мелкосерийном и единичном производствах. Производство, построенное на модульном принципе, становится гибким, способным в кратчайшие сроки с минимальными затратами перейти на производство продукции или оказания услуг новых видов с минимальным объемом технологической подготовки производства. Применение модульных технологий наиболее эффективно при подготовке многономенклатурного производства. Особую актуальность это направление приобретает в настоящих условиях при отсутствии централизованного финансирования и нежелания бизнеса вкладывать средства в долгосрочные проекты. Капитальные затраты на создание модульного комплекса оборудования ниже, чем типового оборудования, реконструкция производства может выполняться поэтапно, средства, полученные от эксплуатации первых модулей, могут быть использованы для изготовления нового

оборудования. Возможно перепрофилирование производства при его расширении, при этом уменьшаются сроки освоения производства [5].

Заключение. Предложенный метод поиска технических решений, связанных с охраной труда и окружающей среды, отличается наглядностью, эффективностью, комплексностью и универсальностью. Изменяющееся соотношение затрат на материалы, энергию и заработную плату и появление новых технических решений требуют периодического пересмотра результатов оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zwicky, F. The Morphological Method of Analysis and Constructions, Courant, Anniversary / F. Zwicky. – Volume, 1948.
2. Zwicky, F. Entdecken, Erfinden, Torschen im morphologischen Wettbild / F. Zwicky. – Munchen–Zurich, Knaur, 1966.
3. Беллман, Р. Динамическое программирование (пер. с англ.) / Р. Беллман. – М.: Иностран. лит., 1960. – 400 с.
4. Базров, Б.М. Модульный принцип построения механосборочного производства / Б.М. Базров // Вестн. машиностроения. – 1993, № 2. – С. 19–23.
5. Васильев, А.Л. Модульный принцип формирования техники / А.Л. Васильев. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 240 с.

Поступила 05.01.2016

JUSTIFICATION OF TECHNICAL SOLUTIONS RELATED TO OCCUPATIONAL SAFETY AND THE ENVIRONMENT

V. IVANOV, V. DRONCHENKO

Examines changing ratios of costs for materials, energy and salaries and the emergence of new technical solutions requiring periodic review of the optimization results. The method of selection and justification of technical decisions related to health and the environment given the constraints of safety and efficiency requirements, characterized by clarity, efficiency, comprehensiveness and universality.

Keywords: labor protection, environmental protection, technical solutions.