

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Техническое перевооружение и реконструкция производства кроме решения задач проектирования и внедрения новых технологических процессов предусматривает также в качестве основного средства интенсификации производственных процессов комплексную механизацию и автоматизацию.

Комплексность (лат. complexus – 1. связь, сочетание, построение; 2. охватывание, обнимание, объятие), в том числе и механизации и автоматизации, – одна из характеристик структуры рассматриваемого объекта или явления. Она не может быть правильно понята без анализа изучаемой системы. Всякий объект представляет собой объединение первичных составных частей, их сочетание в определенных целях – систему. Оценивая занятость части или всех компонентов в реализации какого-либо явления, например автоматизации всем объектом (участком, цехом...), можно говорить о комплексности такого участия. Отсюда комплексность есть ни что иное, как выражение доли участия некоторых или всех компонентов в реализации всей системой, т.е. всеми компонентами какого-либо явления, например автоматизации.

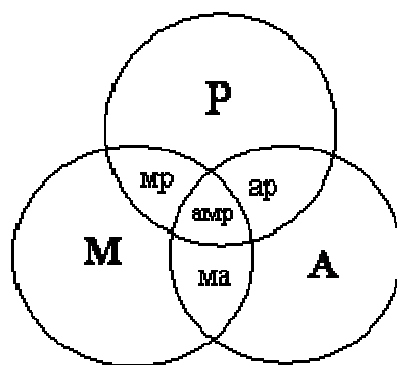
Комплексность есть явление структурно-иерархическое, своеобразно проявляющееся на разных ступенях развития объекта рассмотрения. Применительно к производственным процессам, прежде всего можно отметить комплексное усовершенствование оборудования и других средств технологического оснащения на отдельных операциях. В данном случае имеется относительно низкая, как бы первичная, степень комплексности, где объектом (подсистемой) является технологическая операция, а её первичными компонентами орудия труда или средства технологического оснащения, используемые для выполнения технологических и вспомогательных переходов.

Второй, более высокий, уровень комплексности – это построение следующего по сложности структурного образования – технологического процесса. Объектами **третьей** ступени комплексности могут приниматься уже не отдельные технологические процессы, а их системы, объединенные единой производственной задачей в пределах производственного участка или отделения какого-либо цеха. **Четвёртой** ступенью комплексности можно считать производственные процессы в пределах цеха. **Пятой** – комплексную механизацию и автоматизацию в рамках технологически однородной группы цехов: механических, сборочных, ремонтных, инструментальных и т.д. **Шестая** ступень – комплексная механизация и автоматизация предприятия в целом. **Седьмая** ступень относится к ассоциации, союзу или другому

объединению предприятий на региональном или отраслевом уровнях. Из приведенной схемы следует, что в реализации данной системой какого-либо явления система может или вообще не участвовать, либо её участие может иметь две разновидности: единичную или комплексную (более одного) занятости компонентов. По своей природе комплексность может быть либо частичной, либо полной. Это означает, что в реализации рассматриваемого явления, например автоматизации, в первом случае участвуют не все компоненты системы, а во втором – все компоненты без исключения.

Такой подход, вскрывая системные основы комплексной механизации и автоматизации, тем не менее не раскрывает смыслового содержания собственно процессов механизации и автоматизации. Эти процессы, являясь, в первую очередь, способами замены ручного труда машинным, предполагают замену орудий труда на особый вид средств технологического оснащения, называемых машинами.

Изучая процессы механизации, можно отметить, что использование в трудовом процессе машины как средства механизации обеспечивает замену части или всех энергозатрат человека, необходимых для формообразования предмета труда или для перемещений. Таким образом, механизация позволяет частично или полностью устранять энергозатраты человека, необходимые для производства продукции. Вот почему механизация процесса должна рассматриваться как применение энергии неживой природы в технологическом или другом производственном процессе, полностью управляемом людьми. Она осуществляется в целях сокращения трудовых затрат, повышения качества продукции и улучшения условий труда рабочих. В отличие от механизации, процесс автоматизации производства предполагает внедрение машин, существенным отличием которых является самоуправление. Поскольку управление основывается на информационном обмене, то особенности процесса автоматизации следует рассматривать в первую очередь с учётом замены информационно-управляющей функции труда человека работой машин. Следовательно, определяя категорию «автоматизация», следует иметь в виду, что новым и особенным моментом в этом случае является применение энергии неживой природы для выполнения и управления процессами без непосредственного участия людей. Цель таких действий – также сокращение трудовых затрат, улучшение условий труда и производства, повышение объёма выпуска и качества продукции. Фиксируя какой-либо процесс как сумму элементарных действий, можно определить состояние его механизации или автоматизации исходя из представлений теории множеств следующим образом (рис.10). Средства технологического оснащения, с помощью которых реализуют перечисленные выше процессы, получают соответствующее название, например механизированно-ручной инструмент, механизированное приспособление или станок - полуавтомат и т.д.



(P – ручной; M – механизированный; A – автоматический; мр – механизированно-ручной; ар (амр) – автоматизированно-ручной (полуавтоматический); ам – автоматизированный; ма (амр) – механизированно-автоматический)

Рис. 10. Диаграмма Эйлера – Венна для определения состояния механизации и автоматизации технологического процесса

Важнейшей характеристикой любого производственного процесса, кроме затрат энергии и объёмов перерабатываемой информации, является время. Затраты времени, как то было отмечено выше, – важнейшая исходная величина для определения не только объёма выпуска продукции, но и характеристик производственной мощности объекта технического перевооружения или реконструкции. Трудозатраты, составляющие штучного времени, содержание составных частей штучного времени по состоянию их механизации и автоматизации определяют также величину уровня механизации и автоматизации технологических процессов. В зависимости от хронометрического показателя уровня механизации и автоматизации $dt = tmн / tшт$ ($tmн$ – машинное не перекрытое ручным время выполнения технологической операции или процесса; $tшт$ – штучное время выполнения той же технологической операции или технологического процесса), оценивающего значимость и меру влияния механизации и автоматизации на технологический процесс, можно выделить различные категории их состояния. Такая аттестация рабочих мест, участков, цехов при анализе и выборе объектов технического перевооружения на стадиях разработки проектов позволяет целенаправленно вести работы на повышение уровня механизации и автоматизации производственных процессов и в конечном счёте обеспечивать на этой основе рост производительности, так как многократно доказана тесная взаимосвязь показателя уровня механизации и автоматизации с показателями производительности труда. Кроме сказанного, показатели уровня механизации и автоматизации используются в паспортизации предприятий, цехов, для аттестации рабочих мест, в компоновочных расчётах групп многостаночного обслуживания, в расчётах запасов технологической оснастки и т.д. Широкий спектр целей применения названных показателей не позволяет на

предприятиях ограничиться одним методом оценки. Поэтому на предприятиях используют систему показателей уровня механизации и автоматизации, в которой каждая оценка имеет свою строгую целевую направленность и служит не только для сопоставительного анализа, но и позволяет решать другие конкретные проектно-технологические задачи. Показатели уровня механизации и автоматизации можно распределить на два больших класса: структурные и функциональные, которые оценивают по показателям либо структуры, либо процесса функционирования производственной системы. Частные показатели уровня механизации (автоматизации), общее число которых в различных отечественных и зарубежных методиках расчёта приближается к 100, можно разделить на типы в зависимости от основного учетного параметра: Ч – человек; Ст – средства технологического оснащения; Пт – предмет труда (изделие, материал, либо другой вид продукции); Т – время; Э – энергия; И – информация.

В зависимости от основных методов расчёта уровня механизации и автоматизации формируются также сложно-составные способы расчёта, которые используют различные поправочные коэффициенты, коды классов и подклассов средств механизации и автоматизации, различные средневзвешенные величины и т.д.

Простые формулы расчётов, представленные данной выше классификацией, можно проиллюстрировать следующими примерами.

- Кадровые показатели. В этом классе широко распространён расчёт степени охвата рабочих механизированным трудом:

$$C_m = R_m / (R_m + R_{mr} + R_r) \quad (35)$$

где R_m – число рабочих механизированного труда;

R_{mr} – число рабочих механизированно-ручного труда;

R_r – число рабочих ручного труда.

Этот показатель характеризует в первую очередь состояние механизации и автоматизации труда рабочих для решения социальных задач совершенствования производства.

- Помашинные показатели уровня механизации и автоматизации характеризует показатель.

$$K_{авт} = C_{авт} / C_{общ}, \quad (36)$$

где $K_{авт}$ – коэффициент (уровень) автоматизации;

$C_{авт}$ – число станков автоматического действия;

$C_{общ}$ – общее число станков.

Кроме такого способа оценки состояния (распространенности) механизации и автоматизации широко используются различные классификационные системы оценки состояния механизации и автоматизации самих станков: от станков с ручным приводом до полностью автоматических.

- Продукционные методы оценки состояния механизации и автоматизации получили преимущественное распространение для анализа погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ, например, расчёт

$$Y = O_m/O, \quad (37)$$

где O_m – объём продукции переработанной механизированным способом; O – общий объём продукции.

- Информативные показатели. Они не получили широкого распространения, хотя по аналогии с предшествующими формулами их можно определить через соотношение объёмов перерабатываемой информации машинным способом (в битах) к общему объёму перерабатываемой информации в той или иной информационной технологии, например подготовке управляющих программ к станкам с ЧПУ.
- Энергетические показатели можно представить следующей формулой расчёта

$$W = \frac{\sum \Delta_m(a)}{\sum \Delta_m(a) + \sum \Delta_p} \quad (4.38)$$

где $\sum \Delta_m(a)$ – сумма полезной работы машин (a – при автоматизации); $\sum \Delta_p$ – сумма полезной ручной работы людей, участвующих в производственном, либо технологическом процессе. Хронометрические показатели проиллюстрированы показателем dt

$$dt = t_{nm} / t_{шт}. \quad (39)$$

Классификация методов оценки уровня механизации и автоматизации позволяет рассмотреть способы их практического применения. В первую очередь рассматриваемые методы анализа используют для сопоставительного анализа аналогичных производств в целях определения направлений технического перевооружения или реконструкции производственных подразделений, улучшения состояния механизации и автоматизации в них до уровня образцовых.

Низкое значение показателя (C_m) в анализируемых цехах при высоком значении (dt) может свидетельствовать о том, что значительная часть рабочих не использует механизированное (автоматизированное)

оборудование на фоне того, что другая часть рабочих, использующих высокоавтоматизированное оборудование, большую часть времени занята только наблюдением за процессом. В этой связи можно констатировать, что вопросы комплексной механизации и автоматизации решены в таких цехах неправильно. Вторичная механизация и автоматизация в результате технического перевооружения и реконструкции таких цехов была ориентирована только на участки механической обработки, полностью не были затронуты слесарные участки. В результате величина S_m уменьшилась за счёт роста производительности труда станочников и высвобождением их численности. Выбор объектов механизации и автоматизации в данном случае был осуществлен недостаточно тщательно, что привело к относительной «размеханизации» производственного процесса с точки зрения решения социальных задач.

Анализируя способы применения хронометрического показателя уровня механизации и автоматизации труда dt , расчёт которого ведется по формуле (39), можно отметить, что для крупных производственных подразделений нередко требуется использование малых выборок с целью сокращения затрат времени на аналитическую работу. Решение вопроса о применении в данном случае теории малых выборок основывается на законах распределения величины dt .

Исследования показали, что на отдельно взятых операциях технологических процессов, например механической обработки, законы распределения показателя близки к нормальному. Но в других случаях, например для участка, цеха, они далеки от нормального закона распределения и описываются другими законами распределения, например законом распределения Пирсона. Теория малых выборок, которая, как известно, основывается на использовании нормального закона распределения анализируемой величины, может быть использована для распределений, близких к нормальному (наличие эксцессов, асимметрий...), лишь бы объём выборки был не чрезмерно мал. Следовательно, для выборочного анализа показателя dt на отдельных технологических операциях с указанными ограничениями приемлема общепринятая теория малых выборок с использованием критерия Стьюдента. Более сложным является решение вопроса о применении теории малых выборок при анализе крупных структурных подразделений (участка, цеха...), так как закон распределения показателя dt резко отличается от нормального. Он описывается, как правило, кривыми распределения со следующими выравнивающими частотами:

$$n_j = n_0 \left(1 + \frac{x}{l_1}\right)^{-q_1} \cdot \left(1 + \frac{x}{l_2}\right)^{-q_2}, \quad (40)$$

где $n_0=5,817$; $l_1=6,009$; $l_2=2,784$; $q_1=0,584$; $q_2=0,354$.

Параметры данного распределения для цеха дают U-образный тип закона распределения Пирсона. Это обстоятельство требует иного подхода к решению задачи о применении теории малых выборок [26]. Документом, в котором фиксируют значения показателя уровня механизации и автоматизации технологического процесса, является маршрутная карта. В ней предусмотрено кодирование степени механизации и автоматизации, на основании чего определяется не только технический уровень технологии, но также должен даваться ответ на решение задачи об оптимизации технологического процесса по уровню его автоматизации. Для кодирования состояния механизации и автоматизации технологических операций в маршрутных картах технологических процессов предлагается воспользоваться двоичным алфавитом, который широко распространен в технической кибернетике. Основываясь на определении механизации и автоматизации как способах использования в технологическом процессе энергии и информации, замены энергетической и информационно-управляющей функций труда человека работой машин (они были стандартизованы ранее в ГОСТ 23004–78), можно выполнить следующую классификацию технологических операций и средств технологического оснащения в целях кодирования технологических процессов по состоянию их механизации и автоматизации.

Пусть E – обозначает энергетическую, I – информационно-управляющую функции выполнения технологической операции или процесса. Эти аббревиатуры могут дополняться индексом (m), если заданная функция выполняется машиной, и ($ч$) – человеком. Обозначив наличие средств технологического оснащения, в том числе и технологического оборудования аббревиатурой T , можно на основе формул теории сочетаний для множеств $\{Им; Em; T; Ир; Ер\}$ определить 32 теоретически возможных способа выполнения технологических операций по изготовлению продукции. Вводя ограничения на невыполнимые сочетания в технологическом процессе, можно определить таблицу (табл. 4.2) кодировочных признаков технологических операций по состоянию их механизации и автоматизации. Дополнительными условными обозначениями в табл.2 приняты следующие обозначения:

- $-Ер; -Ир$ – полное исключение названных в таблице функций;
- 1– наличие отмеченного признака выполнения технологической операции;
- 0 – отсутствие названного признака;
- 20(1,2...) – двоичная форма записи числа кодировочного признака.

Двоичная система записи позволяет выполнить пересчёт в десятичную систему и определить код состояния механизации и автоматизации технологических операций (D_i), табл.2.

При заполнении маршрутной карты на основании кода класса технологических операций можно рассчитать средневзвешенную величину кода степени механизации (автоматизации) технологического процесса по величине штучного времени, которое, как известно, проставляется в

маршрутной карте технологического процесса в той же строке технологической операции, что и код состояния механизации и автоматизации.

Для дальнейшего использования такой методики, дополняющей основные методы расчёта, которые были изложены выше, требуется доказать, что величина кода (или уровня) механизации и автоматизации связана с ростом производительности труда и другими показателями экономической эффективности технологических процессов.

Такое эмпирическое исследование выполнялось нами для условий проектирования роботизированного технологического процесса изготовления деталей. На основе плана обработки роботизированного технологического процесса был разработан многовариантный граф (см. рис.2), который предусматривал различные варианты замены плана обработки, способов концентрации и дифференциации технологических операций, замены технологического оборудования, методов обработки, технологической оснастки и других структурных составляющих технологических операций. В каждой вершине такого графа, характеризующей вариант операции, проставлялось штучное время обработки, код состояния механизации и другие составляющие, характеризующие эффективность технологического процесса. Обработка данной математической модели перспективных технологических процессов с использованием алгоритма «АМАСОНТ» позволила получить эмпирическую зависимость изменения кода состояния механизации и автоматизации от параметра штучного времени:

$$t_{шт} = 45,02 D^{-0,66}. \quad (41)$$

Статистические величины, характеризующие тесноту взаимосвязи, имели следующие значения $r=0,944$; $F=4893,34$.

Сопоставительный анализ исследованных технологических процессов показывает, что штучное время затраты по старому и предлагаемому вариантам сокращаются примерно в 1,5 раза, уровень автоматизации возрастает в 2 раза, количество роботизированных технологических комплексов в анализируемом технологическом процессе увеличивалось с 3 до 11. Установленные закономерности взаимосвязи параметров состояния механизации и автоматизации с показателями снижения штучного времени и приведенных затрат на выполнение технологического процесса позволили сделать вывод о том, что в случае обоснованного выбора объектов и средств механизации и автоматизации в ходе технического перевооружения производства имеются весьма существенные возможности повышения не только уровня механизации и автоматизации, но и повышения экономической эффективности производства.

Т а б л и ц а 2 Признаки состояния механизации и автоматизации технологических операций

Название	Инд.	Код	Метод выполнения		Ир	Ер	Им	Ем	Т	Ир	Ир
					26	25	24	23	22	21	20
Естественно-автоматическая	ЕА	0	операции естественного старения(сушки, остывания заготовок и т.д.)	0	0	0	0	0	0	0	0
Ручная операция	Р	5	<u>ручной метод</u> <u>выполнен</u> кооперированно-ручной	$\frac{3}{7}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{1}{1}$
Механизированно-ручная	МР	15	механизированно-ручной метод	15	0	0	0	1	1	1	1
Механизированная контрольная	МК	21	<u>без регулировки</u> <u>парам. издел</u> с регулировкой параметров	$\frac{19}{23}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$
Автоматизированно-ручная	АР	31	используются машины-полуавтоматы	31	0	0	1	1	1	1	1
Механизированная	М	46	механизированный метод	46	0	1	0	1	1	1	0
Автоматизированная	АМ	62	автоматизированный метод	62	0	1	1	1	1	1	0
Автоматическая	А	124	автоматический метод	124	1	1	1	1	1	0	0