

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВА ПРОФИЛЕЙ

Турупалов В.В., Новаковская А.О.

Донецкий национальный технический университет, г.Донецк
кафедра автоматике и телемеханики

В роботі проведено аналіз якісних характеристик виробництва металічних профілей. Базуючись на результатах аналізу, створено математичну модель у вигляді диференційних рівнянь, що дозволяють реалізувати прогноз виконання виробничої програми на будь-який час.

Общая постановка проблемы. В современных условиях экономики Украины наиболее прибыльным и ликвидным является гражданское строительство. Существующие технологии строительства используют металлопрофили различных видов. Поэтому актуальным является развитие производств, предназначенных для выпуска холоднокатанных профилей. Гибочные станы, предназначенные для производства средних объемов продукции, требуют незначительных производственных площадей, достаточно мобильны в установке, монтаже и наладке основного оборудования. Закупаемые за рубежом станы обладают высоким уровнем механизации и автоматизации, но в отечественных организационных и производственных условиях возникает необходимость доукомплектации этих станов и доработки системного обеспечения управления формовкой профилей. Это связано, в первую очередь, с ацикличностью поступающих заказов и разбросом физико-химических свойств материала заготовок – штрипса. Поэтому, возникает проблема управления организационными и технологическими аспектами предприятий, производящих строительные профили.

Анализ литературных источников. Особенности работы оборудования станов описаны в работе [1], вопросы автоматизации – в работе [2]. Организационные и экономические вопросы управления производством профилей изложены в работе [3].

Постановка задачи.

Для производства строительных металлоконструкций – специальных профилей, изготавливаемых на гибочных станах, разработать математическую модель, которая позволяет осуществлять прогноз портфеля заказов и производственной программы предприятия на плановый период – месяц, с разбивкой на сутки (верхний уровень). Для нижнего уровня управления технологией производства необходимо разработать математическую модель, позволяющую осуществить прогноз скоростных режимов и производительности оборудования.

Решение задач и результаты исследований.

При разработке математической модели реализован ряд подзадач: анализ характеристик объекта управления, классификация переменных, выбор типа математической модели, разработка уравнений модели.

Обычно на каждый месяц отделом маркетинга собирается портфель заказов предприятия, затем данные портфеля поступают в планово-экономический отдел. В этом отделе осуществляется сортировка по материалу изготовления и типу профиля. Из них выделяются те, для которых предусмотрена наценка за срочность изготовления с фиксированной датой выполнения заказов. Производство планируется таким образом, чтобы время, потраченное на переналадку стана для производства другого типа профиля, было минимальным. Однако, когда появляются срочные заказы в течении планового периода, возникает необходимость сдвига плановых заказов и, соответственно, перенастройки стана. Это определяется режимом оперативного управления работой стана. Одной из основных задач планирования производства является расчет добавочной прибыли и выяснение целесообразности выполнения срочных заказов.

Технология производства.

Цех по изготовлению профиля включает в себя линию продольно-поперечной резки и два гибочных стана, изготавливающих профили разных типоразмеров. Один стан изготавливает открытый профиль, другой – профили типа CD, UD, U50, U75, U100, C50, C75, C100. Конструкции гибочных станом практически одинаковы. Гибочный стан по изготовлению открытого профиля включает в себя: разматыватель, профилирующую установку, приемный стол и шкаф управления. Профилирующая установка является основным устройством стана (консольного) и состоит из сварной рамы, заправочного устройства, профилирующих клетей, механизма правки, отрезного устройства абразивного типа и мотора-редуктора.

На склад предприятия поступают рулоны оцинкованной стали, которые на линии продольно-поперечной резки разрезаются на бухты металла заданной ширины. Рулон устанавливают на разматыватель, его конец заправляют в приемное устройство роликовых ножниц, которые режут лист на бухты. Число резов роликовых ножниц 8 - 12. Отрезанные ленты через петлевую яму и устройство натяжения поступают на наматыватель бухты. Отрезанная кромка поступает на кромкосвертыватель. Поскольку скорость размотки и скорость намотки различаются, петлевая яма используется для накопления в ней бухт металла. Подготовленную для профилирования бухту устанавливают на разматыватель стана. Край полосы помещается в заправочное устройство, предотвращающее смещение полосы металла от заданного направления. Затем производится формовка профиля: полоса металла пропускается последовательно через все профилирующие клетки (12 штук), которые придают штрипсу необходимую форму. Отрезное устройство, управление которым осуществляется с помощью пневмоцилиндра, приводимого в движение сжатым воздухом, позволяет фиксировать длину готового изделия.

Анализ характеристик объекта управления показал, что заказы на производимую продукцию зависят от времени, их объем меняется в сезон развития строительно-монтажных работ, как правило, приходящихся на весну-осень, достигая пика в августе-октябре месяце. Т.е. процесс поступления заказов на предприятие является нестационарным. При исследовании процесса поступления сырьевого материала – штрипса, было выявлено, что производительность оборудования зависит от типа штрипса и завода-производителя, а резка штрипса на заготовки мерной ширины определяют количество отходов от поставки исходного сырья. Кроме того, при анализе характеристик объекта управления была проведена декомпозиция на микро- и макроуровни. На микроуровне необходимо рассмотреть процессы превращения заготовки в готовую продукцию, связанные с производительностью оборудования формовочных станов. На верхнем уровне математическая модель должна описывать формирование заказов и их выполнение с учетом переналадок оборудования и скоростных режимов работы станов.

По результатам анализа характеристик объекта управления осуществлена классификация переменных. Для задачи верхнего уровня – управления предприятием, как юридическим лицом:

Выходные переменные: П – прибыль, ССЗ – себестоимость заказа, ОВП – объем выпускаемой продукции, ЭЗ – энергозатраты на производство, ПО – производительность оборудования, КО – количество отходов, ВД – валовый доход, ВР – валовый расход, ЧП – чистая прибыль.

Входные переменные: n – число заказов, k – число срочных заказов, ЦЗ – цена заказа, ДС – доплата за срочность, ОЗ – объем заказа, ВР – потери за счет брака, ОС – отчисления на социальные нужды, АОФ – амортизация основных фондов, СС – стоимость сырья, ЗР – зарплата рабочих, ФОП – фонд оплаты труда, ЭЗ – энергозатраты, СР – стоимость ремонта, Nz – число заказчиков, М – число конкурентов, ОЦЭЗ – общецеховые энергозатраты, ПО – производительность оборудования, $t_{\text{п}}$ – время переналадки, L – время работы оборудования за месяц, ВП – вид выпускаемой продукции, $BВ_i$ – баланс времени, затраченного на изготовление i-го вида продукции. m – число станов, P – мощность электродвигателей, VФ – скорость формовки, VP – скорость резки, КР – количество резов, РШ – размер (ширина) штрипса, КБ – количество брака, НР – накладные расходы, ОЦР – общецеховые расходы.

Осуществлена классификация переменных также для задачи нижнего уровня – управления технологией производства:

Выходные переменные: ПС – производительность стана, VШ – скорость подачи штрипса, L_j – число готовых изделий (j – номер изделия), LШ – длина штрипса, ОШ – вес штрипса

Входные переменные: ОДС – обороты двигателя стана, RR – радиус рулона, VP – скорость реза, t_0 – время остановок, ОДР – обороты двигателя разматывателя, $t_{\text{зн}}$ – время запаздывания в накопителе, ПВ – погонный вес.

Это позволяет осуществить следующую постановку задачи моделирования, как прямой задачи системного анализа:

Разработать математический оператор А, позволяющий установить взаимосвязь выходных переменных с входными.

Выделенные характеристики объекта управления и особенности процессов, протекающих в нем, позволили осуществить выбор структуры модели из класса существующих типов моделей. Нестационарность процессов определила выбор динамической модели. При этом взаимосвязи переменных определяют нелинейный характер зависимостей.

Поступление заказов на предприятие, анализ которых проведен за последние три года, показал, что, в основном, эти заказы носят детерминированный характер. Случайности имеют не систематический характер и могут быть учтены в процедурах идентификации моделей. Таким образом в работе предусматривается разработка нелинейной детерминированной динамической модели. Структура модели предусматривает декомпозицию на подмодели уровней.

Составим математическую модель для системы верхнего уровня: Скорость поступления заказов представлена уравнением (1):

$$\frac{dOЗ}{dt} = \sum_{i=1}^{n+k} KO_i \cdot OЗ_i - \sum_{j=1}^M KK_j \cdot OЗ_j, \quad (1)$$

$$\text{где } KO_i = \frac{ЦЗ_i}{ЦЗ_j}$$

Динамика выпуска продукции отражена выражением (2):

$$\frac{dОВП}{dt} = \sum_{i=1}^{n+k} КП_i \cdot ПО_i - \sum_{i=1}^{n+k} КН_i \cdot \frac{ВП \cdot ПО_i}{L}, \quad (2)$$

$$\text{где } КП_i = \frac{ОВП_i}{\sum_{i=1}^{n+k} ОВП_i}$$

Изменение энергозатрат на выпуск продукции портфеля заказов характеризуется уравнением (3):

$$\frac{dЭЗ}{dt} = \sum_{i=1}^{n+k} КП_i \cdot \frac{БВ_i}{L} \cdot ND + ОЦЭЗ \quad (3)$$

Количество отходов можно представить уравнением (4)

$$\frac{dКО}{dt} = \sum_{i=1}^{n+k} КП_i \cdot \frac{РШ_i}{КР_i} + \sum_{i=1}^{n+k} КП_i \cdot КБ_i \quad (4)$$

Динамика изменения валового дохода представлена уравнением (5), валового расхода – уравнением (6), прибыль представлена уравнением (7), себестоимость – уравнением (8)

$$\frac{dBD}{dt} = \sum_{i=1}^n OЗ_i \cdot ЦЗ_i + \sum_{j=1}^k OЗ_j \cdot ЦЗ_j \cdot ДС_j \quad (5)$$

$$\frac{dBP}{dt} = \sum_{i=1}^p CC_i \cdot ОШ_i + ЗР + ЭЗ + СР + ВР + ОС + АФ \quad (6)$$

$$\frac{d\Pi}{dt} = \sum_{i=1}^n OЗ_i \cdot ЦЗ_i + \sum_{j=1}^k OЗ_j \cdot ЦЗ_j \cdot ДС_j - \sum_{i=1}^{n+k} CC_i \quad (7)$$

$$\frac{dCCЗ}{dt} = \sum_{i=1}^{n+k} k_i \cdot CC_i \cdot OЗ_i + KЗ \cdot ЗР + KЭ \cdot ЭЗ + KР \cdot СР + \sum_{i=1}^{n+k} KB_i \cdot BR_i + OC + \sum_{j=1}^n A\Phi_j \quad (8)$$

Учет налогов и отчислений в расчете чистой прибыли представлен уравнением (9)

$$\frac{dЧП}{dt} = (BD - BR) \cdot \text{налоги} - \text{ФОТ} \cdot OC \quad (9)$$

Составим математическую модель для системы нижнего уровня. На этом уровне осуществляется прогноз производительности станов по каждому виду продукции – уравнение (10), подкрепленное выражением (11), определяющим возможности размотывателя, подающего металл через петлеобразующий накопитель.

$$\frac{dПC_i}{dt} = КП_i \cdot ВВП_i \cdot ОДС_i \cdot \frac{ОДС_i}{VШ_i} - VP_i \cdot КП_i \cdot ВВП_i - КП_i \cdot BO_i \quad (10)$$

$$\frac{dVШ_i}{dt} = L_j \cdot KШ_i \cdot ОДР \cdot RR \quad (11)$$

$k_i, KO_i, КП_i, L_j$ - параметры модели.

Уравнения (1) – (11) представляют собой параметрическую модель – структуру, которая позволяет осуществлять прогноз выходных показателей экономического характера для предприятия как юридического лица и рассчитывать скоростные режимы работы профилирующего стана и размотывателя в зависимости от требуемой срочности выполнения заказа.

Выводы.

Научная новизна работы представлена системой связанных нелинейных дифференциальных уравнений, учитывающих особенности производительности станов на нижнем уровне и производственной программы реализации портфеля заказов на верхнем уровне. Уравнения «модели-структуры» представляют собой инструментарий, который может быть реализован в специальном математическом и программном обеспечении двухуровневых систем управления предприятиями, производящими строительные профили.

Литература:

1. Клименко П.Л., Друян В.М. Производство сортового проката. Учебное пособие. – М.:Металлургия, 1974. – 150 с.
2. Афанасьев В.Д. Автоматизированный электропривод в прокатном производстве. - М.: Металлургия, 1977. – 280 с.
3. Джон Э.Ханк, Артур Дж.Райтс, Дин У.Уичерн. Бизнес-проектирование. – М;С-Пб:Вильямс, 2003 . – 656 с.