

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЗАТРАТ РЕСУРСОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ТКАНЕЙ

Борчик Е.М.

ОАО «Моготекс», Могилев, Беларусь

katrinb15@gmail.com

Аннотация. В статье представлена имитационная модель производства тканей предприятия лёгкой промышленности, построенная в системе имитации Powersim, для автоматизации расчета затрат ресурсов при оптимальном сочетании технологических режимов. Задача определения оптимального сочетания технологических режимов в производстве определенного вида ткани по критерию минимизации стоимости ресурсов и временных затрат решена с использованием потокового программирования, как задача определения кратчайшего пути или минимального расхода ресурсов. Получены сочетания технологических режимов с минимальными и максимальными стоимостями затрат, как наилучший и наихудший результат использования имеющегося оборудования. Разработан алгоритм интеграции имитационной модели в корпоративную информационную систему предприятия посредством применения комплекса программных и информационных средств, включающих MSExcel и PowerSim.

Ключевые слова: потоковая модель, имитационная модель, информационная система, ресурсы.

Введение

Ткань, изготовленная на ткацком производстве с помощью специального оборудования и прошедшая стадию браковки, называется суровой тканью. До поступления к потребителю суровые ткани подвергаются предварительной обработке, крашению или печатанию, различным видам заключительной отделки. Суровая ткань, прошедшая все стадии отделки в отделочном производстве (отварка, отбелка, покраска, нанесение рисунка, виды заключительных отделок) и браковки, называется готовой тканью. Процессы отделки ткани, или технологические жизненные циклы ткани состоят из последовательности технологических операций, или стадий технологического процесса. Каждая операция предполагает обработку ткани на определённом технологическом оборудовании и регламентируется соответствующим технологическим режимом (ТР). На стадиях производственного процесса в соответствии с технологической документацией допускается выбор одного из возможных видов оборудования. Оборудование отделки ткани включает такие части как: ванны для замочки, отварочные ванны, промывные корбки и другие части, для каждой из которых согласно технологическим режимам устанавливаются соответствующие настройки. Каждый ТР включает в себя: температурные, скоростные и другие настройки для частей оборудования, или оборудования в целом; применяемые химматериалы, их концентрации; периодичность замены химрастворов и другое.

Одной из задач рационального выбора ресурсов в технологическом процессе производства готовой ткани является задача расчета (уточнения) стоимости затрат химикатов и красителей, в общем случае имеющих стохастический характер, на производство готовой ткани в разрезе себестоимости отдельных технологических режимов. Порезимный расчёт затрат позволяет решить задачу моделирования оптимального технологического процесса производства ткани; задачу определения

оптимального сочетания технологических режимов для процесса производству определенного вида готовой ткани. Для устранения неоднозначности выбора технологических режимов (ТР) на каждом из этапов процесса производства (ПП) поставлена задача многокритериальной оптимизации ПП (в разрезе стоимости ресурсов и/или временных затрат для выпуска заданного количества тканей) [1, 2].

1. Математическая модель производственного процесса

Себестоимости отдельных технологических режимов складываются из стоимостей используемых ресурсов (химикаты, красители, энергоресурсы и другие ресурсы).

Общая стоимость расхода энергоресурсов, необходимых на обработку 1000 м.п. по заданному технологическому режиму на определённом оборудовании рассчитывается на предприятии по следующим, приведённым ниже, формулам [3].

Для каждого типа технологического оборудования рассчитывается нормированное задание N_z – количество ткани выбранного артикула (в м.п.), которое должно обрабатываться на данном оборудовании по заданному технологическому режиму за 1 час. Вид одной из формул для расчёта N_z :

$$N_z = \text{ROUND}(kpv \cdot v_{ob} \cdot 60) \text{ (м.п./ч)}, \quad (1)$$

где $kpv \in [0,1]$ – коэффициент для соответствующего типа оборудования.

Плановая норма расхода времени T_{Nz_1000} , необходимого на обработку 1000 погонных метров (п.м.) выбранного артикула ткани на определённом оборудовании по заданному технологическому режиму зависит от нормированного задания N_z :

$$T_{Nz_1000} = 1000/N_z \text{ (ч)}. \quad (2)$$





С учётом плановых норм расхода ресурсов за 1 час работы оборудования (N_{RG} – газа, м. куб/ч; N_{RP} – пара, т/ч; N_{RE} – электроэнергии, кВт/ч), коэффициента энтальпии $Intal$ и цен на энергоресурсы (Cen_G , Cen_P , Cen_E – газа, пара, электроэнергии, соответственно) рассчитываются: плановые нормы расхода необходимых для обработки на оборудовании 1000 м.п. ткани ресурсов (N_{RG_1000} , N_{RP_1000} , N_{RE_1000} – газа, пара, электроэнергии, соответственно), стоимости расхода отдельно взятых ресурсов (St_G , St_P , St_E – газа, пара, электроэнергии, соответственно) и общая стоимость энергоресурсов St_Energo :

$$St_G = Cen_G \cdot N_{RG_1000} \text{ (руб.)}, \quad (3)$$

$$N_{RG_1000} = N_{RG} \cdot T_Nz_1000 \text{ (м. куб)}, \quad (4)$$

$$St_P = Cen_P \cdot N_{RP_1000} \text{ (руб.)}, \quad (5)$$

$$N_{RP_1000} = \frac{Intal \cdot N_{RP} \cdot T_Nz_1000}{1000} \text{ (гигакалл)}, \quad (6)$$

$$St_E = Cen_E \cdot N_{RE_1000} \text{ (руб.)}, \quad (7)$$

$$N_{RE_1000} = N_{RE} \cdot T_Nz_1000 \text{ (кВт)}, \quad (8)$$

$$St_Energo = St_G + St_P + St_E \text{ (руб.)}. \quad (9)$$

Общая стоимость расхода химикатов, необходимых на обработку 1000 м.п. по заданному технологическому режиму на определённом оборудовании рассчитывается на предприятии по следующим формулам:

$$St_Xim = \sum_j \sum_i Norm_x_{ij} \cdot Cen_x_i \text{ (руб.)}, \quad (10)$$

$$Norm_x_{ij} = C_{ij} / 100 \cdot (VesTk \cdot Percent_j) + C_{ij} \cdot V_vann_j \cdot num_Sl_j / (N_z \cdot Time_sl_j) \text{ (кг/1т. м.п.)}, \quad (11)$$

где $Norm_x_{ij}$ – плановая норма расхода i -го химиката, используемого в j -й ванне оборудования (кг/1т. м.п.); Cen_x_i – цена 1-го кг i -го химиката; C_{ij} – концентрация i -го химиката в j -й ванне (гр./л); $VesTk$ – вес 1 м.п. суровой ткани (кг); $Percent_j$ – процент отжима ткани после прохождения j -й ванны (%); V_vann_j – объём j -й ванны оборудования (л); num_Sl_j – количество сливов химраствора из j -й ванны в течение периода $Time_sl_j$ (ч); N_z – нормированное задание (м.п./ч).

Если принять переменную A за количество химиката номер 1, уносимое тканью из раствора, тогда:

$$A = (VesTk \cdot Percent \cdot 10) \text{ (кг)},$$

B – расход на 1000 м.п. химиката №1 с концентрацией C_1 , получим:

$$B = C_1 \cdot A / 1000 \text{ (кг/1т. м.п.)},$$

D – количество ткани, производимое за неделю, тогда:

$$D = N_z \cdot D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \text{ (м)},$$

где N_z – нормированное задание (м/ч), D_1 – восьмичасовая рабочая смена, D_2 – 3 смены в день, D_3 – 5 дней в неделю.

Z – норма расхода на слив:

$$Z = \frac{C_1 \cdot V_vann \cdot num_Sl}{D \cdot 1000},$$

где, V_vann – сливаемый объём, num_Sl – количество сливов в неделю, получим:

$$Norm_X_{ij} = B + Z \text{ (кг/1т. м.п.)}.$$

Собрав все заданные формулы, получим результирующую формулу (11) для расчета нормы расхода химикатов на 1000 м.п.

Для каждого технологического режима указывается допустимый диапазон изменения расчётной скорости v_ob , м/мин:

$$v_ob \in [S_MIN, S_MAX]. \quad (12)$$

Предприятие на основании формулы (3) определяет для дальнейших расчётов некоторое усреднённое значение v_ob :

$$v_ob = 0,5 \cdot (S_MIN + S_MAX) + 1. \quad (13)$$

Согласно технологической документации, концентрации химматериалов C_{ij} допускают изменение в диапазоне:

$$C_{ij} \in [\bar{C}_{ij} - \Delta C_{ij}; \bar{C}_{ij} + \Delta C_{ij}], \quad (14)$$

где \bar{C}_{ij} – некоторое среднее значение концентрации, ΔC_{ij} – величина отклонения концентрации от среднего значения.

Суммарная стоимость St_{1000} расхода химикатов и энергоресурсов на обработку 1000 м.п. выбранной ткани по заданному технологическому режиму на определённом оборудовании рассчитывается по формуле:

$$St_{1000} = St_Energo + St_Xim \text{ (руб.)}. \quad (15)$$

Задача определения оптимального сочетания технологических режимов для процесса производства определённого вида готовой ткани в разрезе стоимости ресурсов и временных затрат, необходимых для выпуска 1000 м.п., может быть решена с использованием динамического программирования, как задача определения кратчайшего пути, или минимального расхода ресурсов [4, 2]. Решение задачи достигается согласно методу динамического программирования по принципу оптимальности Беллмана с введением лексикографического упорядочения критериев оптимизации (в разрезе стоимости ресурсов и/или временных затрат для выпуска заданного количества продукции).

Процессы производства тканей представляются в виде взвешенных, ориентированных, ациклических графов (рис. 1), вершинами которых являются технологические режимы; нагрузки на дуги графов интерпретируются как временные затраты, либо стоимости затрат ресурсов на выпуск 1000 м.п. ткани на соответствующем оборудовании.

Сложность заключается в том, что в производственном процессе крашения тканей набивным способом (ПП КТНС) – в настоящее время не существует, либо они требуют уточнения, методик расчёта плановых норм расхода химикатов и красителей.

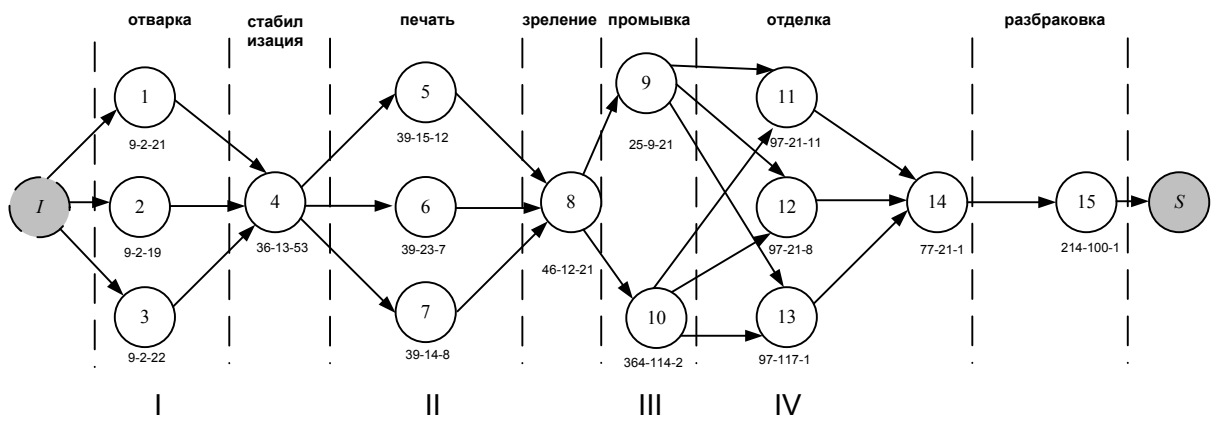


Рис.1. Процесс производства выбранного артикула готовой ткани

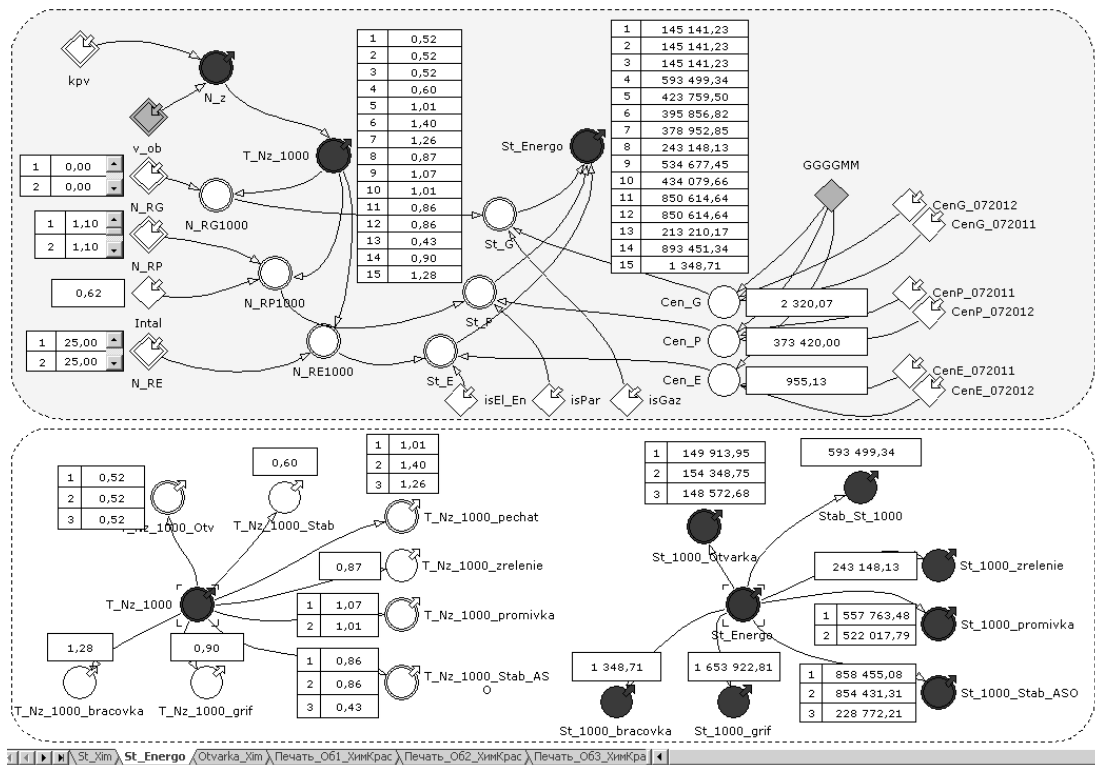


Рис.2. Вкладка расчёта плановых норм расхода времени, энергоресурсов и их стоимостей

2. Имитационная модель производственного процесса

Для выбора оптимальных ТР в системе имитации PowerSim [5] построена имитационная модель (ИМ) расчета плановых норм расхода времени и ресурсов на выпуск 1000 м.п. тканей в разрезе отдельных технологических режимов. Каждая стадия процесса производства готовых тканей представлена на отдельном листе построенной ИМ. Определение оптимального сочетания ТР для исследуемой проводки производится на специально созданном листе итогов модели.

На рис. 2 представлена вкладка имитационной модели, предназначенная для расчёта плановых норм расхода времени, энергоресурсов и их стоимостей в производственном процессе крашения тканей набивным способом.

На рис. 3 представлена модель расчета затрат на один из режимов отварки ткани. Ниже приведено описание констант, переменных, откликов.

Константы:

VesTk – вес ткани:

type VesTk = Real; const VesTk = 0,127.

Percent_1 – процент отжима ткани:

type Percent_1 = Real; const Percent_1 = 65.

Time_sl_1 – время от заливки до слива химраствора, ч:

type Time_sl_1 = Real; const Time_sl_1 = 8*3*5=120.

num_sl_1 – количество сливов химраствора в течение периода Time_sl_1:

type num_sl_1 = Real; const num_sl_1 = 1.

V1, V2 – объёмы 1-й, 2-й ванн с химраствором, соответственно:

type V1 = Real; const V1 = 700;
type V2 = Real; const V2 = 20000.

C_1 – вектор концентраций химикатов:

type C_1 = Real; dim C_1 = 1..2; const C_1 = {2; 1}.

fixC_1 – управляющий параметр фиксации среднего значения концентрации химикатов данного ТР.

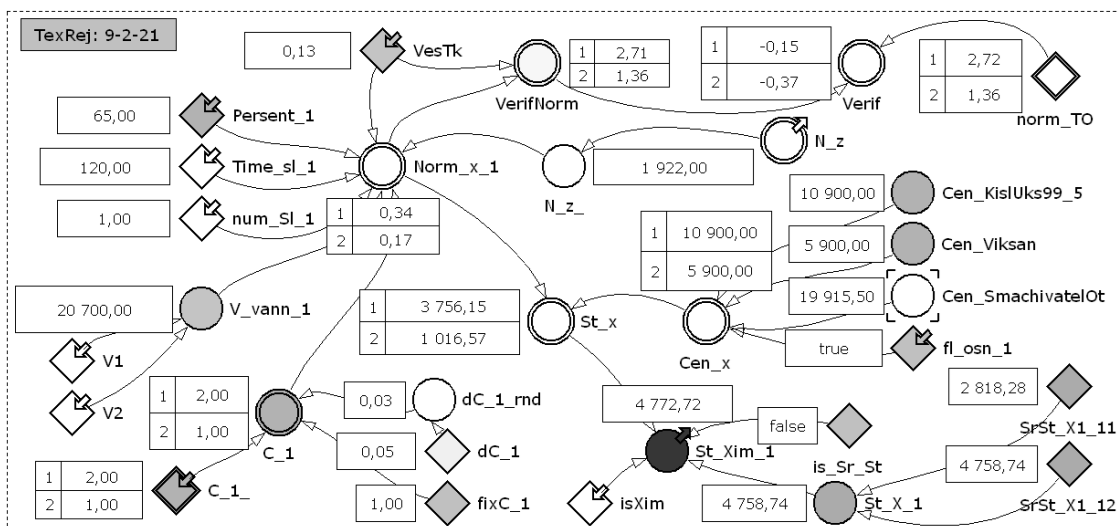


Рис.3. Технологический режим отварки ткани

dC_1 – максимальное отклонение от среднего значения концентрации химикатов.

$isXim$ – управляющий параметр учёта химикатов ТР:

type isXim = Integer; const isXim = 1.

fl_osn_1 – признак выбора основного химиката для 1-го ТР отварки при истинном значении, иначе – выбор химиката-аналога, при ложном:

type fl_osn_1 = Logical; const fl_osn_1 = TRUE.

$norm_TO$ – плановые нормы расхода химикатов, рассчитанные технологическим отделом (для верификации имитационно модели).

$SrSt_X1_11$, $SrSt_X1_12$ – средние (уточнённые) стоимости химикатов 1-го ТР отварки, 2011 г, 2012 г, соответственно.

is_Sr_St – управляющий параметр учёта средних (уточнённые) стоимостей химикатов ТР.

Переменные кадра или "теневые переменные"

(являются изображением или псевдонимом для "первоначальной" переменной [5]; полезны для соединения переменных, размещенных в различных частях модели): $Cen_SmachivatelOt$, $Cen_KislUks99_5$, Cen_Viksan – цены химикатов «Смачиватель ОТ», «Кислота уксусная 99,5%», «Виксан».

type Cen_SmachivatelOt = Real;
aux Cen_SmachivatelOt = IF(GGGGMM=201107;
 $CenSmachivatelOt_1 * CoursSmachivatelOt[1];$
 $CenSmachivatelOt_2 * CoursSmachivatelOt[2]).$

Вычисляемые переменные:

Объём ванн с химраствором:

type V_vann_1 = Real; aux V_vann_1 = V1+V2.

Нормированное задание (плановые нормы расхода времени на выполнение операций технологических режимов):

type N_z = Real; dim N_z = 1..15; aux N_z = ROUND(kpv*v_ob*60).

Нормированное задание на 1-й ТР (рассматриваемый в данный момент ТР):

type N_z = Real; aux N_z = N_z[1].

Отклик концентрации химикатов:

type dC_1_rnd = Real; aux dC_1_rnd=RANDOM(-1*dC_1;dC_1);

type C_1= Real; aux C_1= IF (fixC_1=1; C_1 ; C_1_+dC_1_rnd).

Определение плановой нормы расхода химикатов ТР:

type Norm_x_1 = Real;
aux Norm_x_1 = ((VesTk*Percent_1)/100 + V_vann_1*num_sl_1/(N_z*Time_sl_1))*C_1.

Определение цен на химикаты ТР в зависимости от рассматриваемого периода:

type Cen_KislUks99_5 = Real;
aux Cen_KislUks99_5 = IF(GGGGMM=201107;
 $Cen_KislUks99_5_1 * Cours_KislUks99_5[1];$
 $Cen_KislUks99_5_2 * Cours_KislUks99_5[2]);$
type Cen_Viksan = Real;

aux Cen_Viksan = IF(GGGGMM=201107;
 $Cen_Viksan_1 * Cours_Viksan[1];$
 $Cen_Viksan_2 * Cours_Viksan[2]);$

type Cen_x = Real aux Cen_x = {Cen_KislUks99_5;
 $IF(fl_osn_1; Cen_Viksan; Cen_SmachivatelOt)}.$

Определение стоимостей отдельных израсходованных химикатов ТР в результате обработки заданного количества ткани:

type St_x = Real; aux St_x = Cen_x*Norm_x_1.

St_X_1 – средняя (уточнённая) стоимость расхода химикатов 1-го ТР отварки. Определение уточнённой стоимости в зависимости от рассматриваемого временно-го периода:

type St_X_1= Real;
 $St_X_1=IF(GGGGMM=201107;SrSt_X1_11;SrSt_X1_12).$

St_Xim_1 – общая стоимость израсходованных химикатов ТР операции отварки заданного количества ткани (*отклик*).

type St_Xim_1 = Real;
aux St_Xim_1 = IF(is_Sr_St=TRUE;
 $St_X_1;ARRSUM(St_x))*isXim.$

Стоимости химикатов ТР процесса производства готовой ткани, в общем случае имеют стохастический характер, уточняемый методом Монте-Карло. При этом стохастический характер отклику St_Xim_1 придаёт отклик концентрации химикатов C_1 (Real, Dim= 1..2) участвующий в расчёте отклика St_Xim_1 и зависящий от параметров C_1 , dC_1 , $fixC_1$ (где C_1 – средние значения концентраций химикатов, dC_1 – модуль

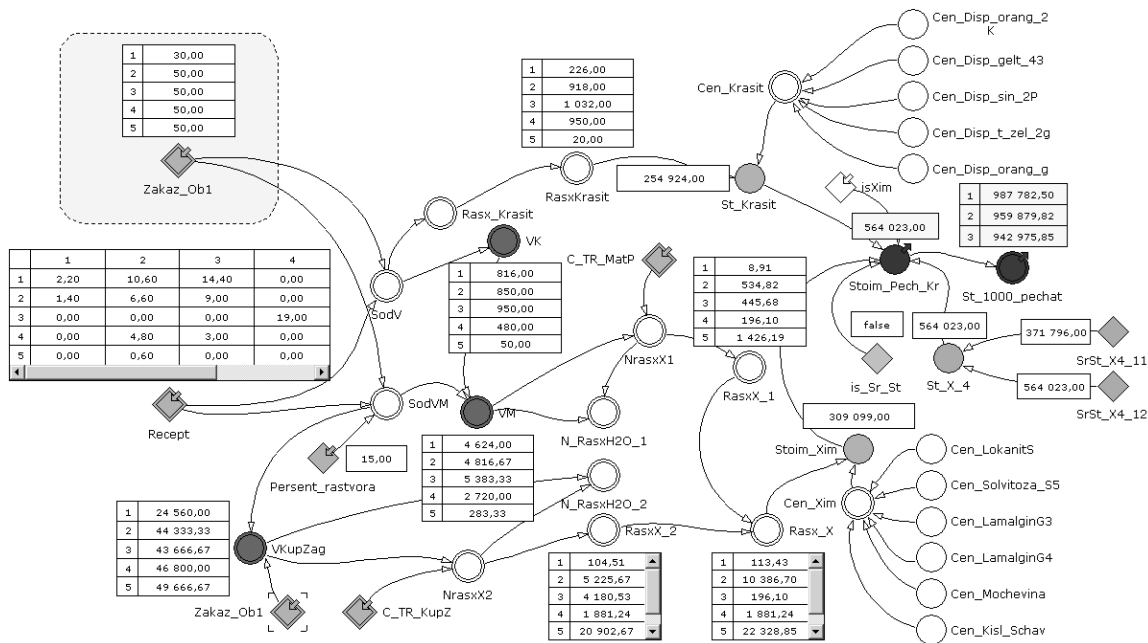


Рис.4. Технологический режим печати на ткани

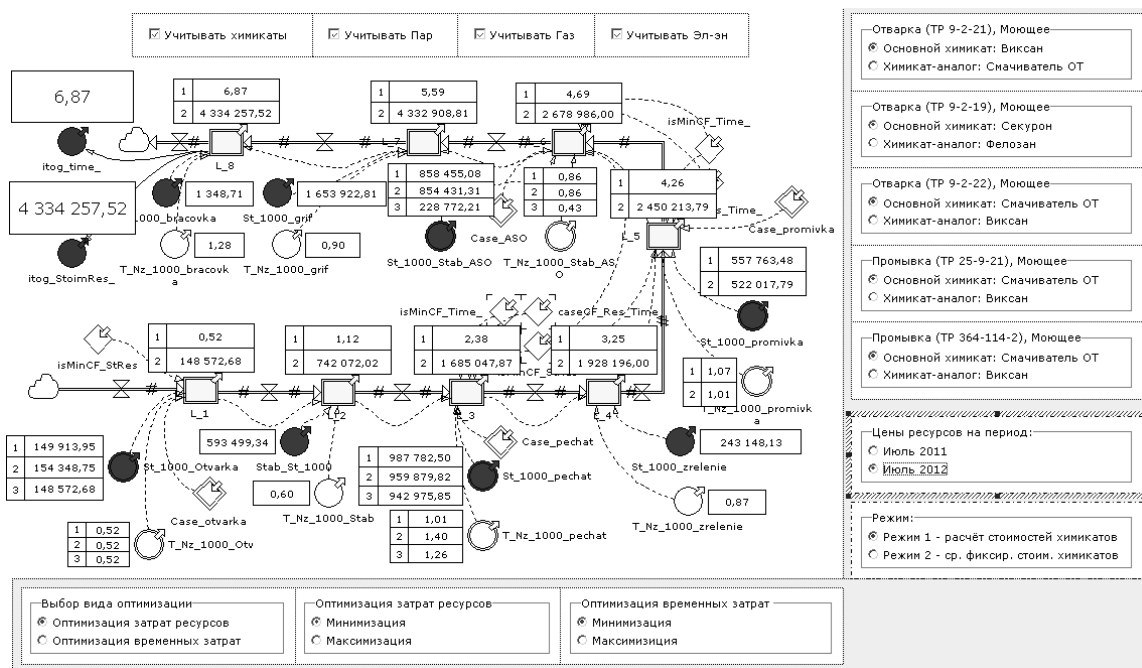


Рис.5. Лист итогов имитационной модели

допустимого отклонения от среднего значения концентрации химикатов, $fixC_{1 \in \{0, 1\}}$ – управляющий параметр фиксации заданных средних значений концентраций химикатов (при $fixC_{1=1}$ фиксируется среднее значение концентрации):

$$dC_{1_rnd} = \text{RANDOM}(-1 * dC_{1}, dC_{1}) \quad (16)$$

$$C_{1} = \text{IF}(fixC_{1}=1, C_{1_}, C_{1_} + dC_{1_rnd}) \quad (17)$$

Алгоритмы ТР печати имеют детерминированный характер расчёта общих стоимости химматериалов.

Параметр *Zakaz_Ob1* (см. рис. 4) – заказ печатной краски (кг) для каждого из шаблонов рисунка для

оборудования ТР печати, являются параметрами модели, доопределяемыми на основании анализа статистических данных, собираемых непосредственно на объекте исследования.

На рис. 5 представлен лист итогов исследования имитационной модели.

Круглые переменные, выделенные цветом, имена которых начинаются с «S», отражают стоимости расхода ресурсов по режимам. Круглые переменные, не выделенные цветом, имена которых начинаются с «T», отражают расход времени по режимам. Прямоугольные переменные уровней L_1, \dots, L_8 отражают суммарные результаты на каждой стадии по времени и стоимости в соответствии с выбором критерия оптимизации.

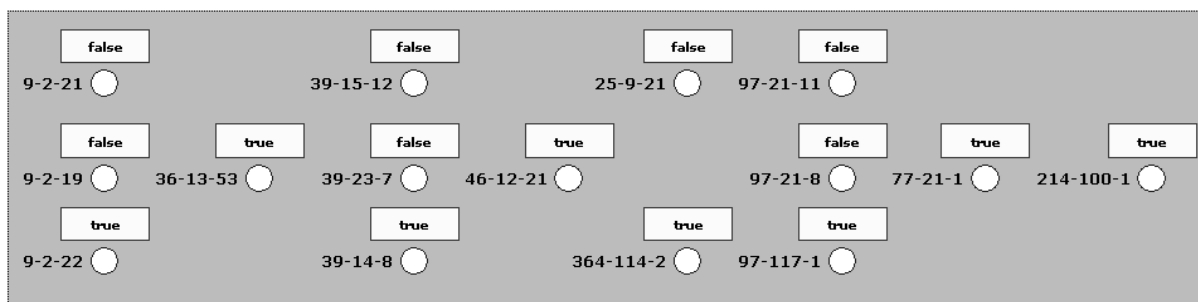


Рис.6. Оптимальное сочетание ТР для процесса производства готовой ткани

Круглые переменные, выделенные цветом, имена которых начинаются с «itog» (рисунок 5), отражают итоговые результаты оптимизации по времени и стоимости. Определение оптимального сочетания ТР производственного процесса (ПП) производится согласно принципу оптимизации Беллмана.

В верхней и нижней областях листа итогов, области справа находятся константы, которые используются в качестве управляющих параметров имитационной модели.

Описание уровней:

- Level_1* - стоимость ресурсов первой стадии ПП,
- Level_2* - суммарная стоимость ресурсов первых двух стадий ПП,
- Level_3* - суммарная стоимость ресурсов первых трёх стадий ПП,
- Level_4* - суммарная стоимость ресурсов первых четырёх стадий ПП,
- Level_5* - суммарная стоимость ресурсов первых пяти стадий ПП,
- Level_6* - суммарная стоимость ресурсов первых шести стадий ПП,
- Level_7* - суммарная стоимость ресурсов первых семи стадий ПП,
- Level_8* - суммарная стоимость ресурсов всех (восьми) стадий ПП.

На рис. 6 представлена вкладка ИМ, представляющая собой последовательность переменных-предикатов, указывающих оптимальное сочетание технологических режимов для исследуемого процесса производства.

3. Процедура уточнения нагрузок на дуги графа ТП

Процедура уточнения нагрузок на дуги графа ТП методом Монте-Карло с использованием специально разработанных моделей их имитации:

Шаг 1. Инициализация значений входных параметров ИМ: параметров технологических режимов; управляющих параметров ИМ. Установка стохастического режима имитации плановых норм расхода ресурсов ТР и обычного режима работы ИМ с полным расчётом по заданным алгоритмам стоимостей затрат ресурсов ($is_Sr_St = False$).

Шаг 2. Запуск эксперимента.

Шаг 3. Выгрузка в КИС предприятия: общих стоимостей S_{ij} потоков рассматриваемых ресурсов в

соответствии со значениями управляющих параметров ИМ (например, потоков химикатов, энергоресурсов, общего расхода ресурсов).

Шаг 4. Повтор шагов 2,3 не менее 30 раз (согласно методу Монте-Карло).

Шаг 5. Статистическая обработка накопленных результатов моделирования; определение оптимальных значений S_{ij}^* общих стоимостей потоков рассматриваемых ресурсов.

Шаг 6. В случае если на Шаге 5 оптимальные значения S_{ij}^* не определены, рекомендуется отбраковка данных в выборках накопленных значений S_{ij} и последующий возврат к шагам 2, 3, 5.

Шаг 7. Инициализация значений параметров ИМ вида S_{ij}^* с учётом результатов работы шага 5 указанной процедуры. Установка режима оптимизации ТП с учётом уточнённых общих стоимостей ресурсов S_{ij}^* : $is_Sr_St = True$.

Шаг 8. Запуск на выполнение эксперимента ИМ; построение последовательности оптимальных состояний ТП на этапах производства готовой продукции; построение последовательности оптимальных управлений ТП производства готовой продукции предприятия.

Шаг 9. Выгрузка результатов работы ИМ в КИС предприятия.

Замечание. Статистическая обработка накопленных результатов моделирования (**Шаг 5**) данных включает: определение и оценку вида распределения совокупности [6, 7, 8] (построение статистической модели распределения выборочных данных с использованием семейств универсальных распределений, особенность которых – возможность аппроксимации лишь одномодальных и U-образных распределений [8]). В том случае, если распределение симметрично и унимодально, для характеристики центральной тенденции S_{ij}^* применяется математическое ожидание; если не симметрично, но унимодально – структурные средние (мода, медиана). Если распределение многомодально, значение S_{ij}^* не определено, переход к **Шагу 6** процедуры.

4. Интеграция имитационной модели в корпоративную информационную систему предприятия

Разработанная имитационная модель интегрируется в корпоративную информационную систему (КИС) предприятия посредством применения комплекса программных и информационных средств (рис. 7) включающих [2]: MS Excel, систему имитации PowerSim, программно-технологический комплекс имитации (ПТКИ) сложных систем BelSim [9], имеющий средства статистической обработки данных, пакет STATISTICA.

Предлагается следующий алгоритм работы построенного комплекса (рисунок 6):

Шаг 1. Выгрузка необходимых данных из КИС предприятия в MS Excel.

Шаг 2. Инициализация переменных ИМ в PowerSim; запуск эксперимента.

Шаг 3. Выгрузка результатов моделирования из PowerSim в MS Excel.

Шаги 4, 6. Передача данных из MS Excel для анализа (отбраковка данных с использованием методов кластерного анализа, оценка вида распределения совокупности данных с использованием универсальных моделей распределений) в программно-технологический комплекс имитации сложных систем (ПТКИ) BelSim и в пакет STATISTICA.

Шаги 5, 7. Выгрузка результатов анализа данных в MS Excel.

Шаг 8. Сохранение полученных результатов в СУБД КИС предприятия.

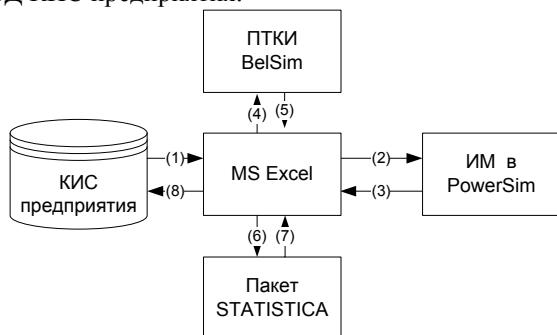


Рис.7. Интеграция имитационной модели в КИС предприятия

Некоторые шаги предложенного алгоритма могут пропускаться. Например, возможен упрощённый вариант работы комплекса, без использования анализа данных в ПТКИ BelSim и STATISTICA, включающий шаги (1)-(2)-(3)-(8).

Заключение

Разработана имитационная модель (ИМ) процесса производства (ПП) тканей, отличающаяся реализацией метода оптимизации ПП (с учётом введённых в рассмотрение лексикографически упорядоченных критериев оптимизации ПП и управляющих параметров ИМ) и уточнением нагрузок на дуги графа ПП, в общем случае имеющих стохастический характер, посредством применения метода Монте-Карло и статистического анализа (построение и анализ статистических моделей распределения многомодальных выборок нагрузок на

дуги графа), что позволяет программно реализовать метод оптимизации распределения ресурсов.

Итоги моделирования.

Случай 1) Применяемое в производстве сочетание ТР для ПП (<0-1-4-6-8-9-11-14-15-16>). Итоги по времени, общей стоимости ресурсов: $T = 7,50$ час; $S = 502$ руб.

Случай 2) Ниже приведены итоги оптимизации (время, общая стоимость ресурсов) и маршруты, согласно критерию оптимизации $S_{Xim} \rightarrow \min$, где S_{Xim} – стоимость химикатов ПП.

Маршруты:

<0-3-4-5-8-9-12-14-15> ,

<0-3-4-6-8-9-12-14-15> ,

<0-3-4-7-8-9-12-14-15> .

Итоговое оптимальное время для маршрутов: $T^* = 7,11$, $T^* = 7,51$, $T^* = 7,36$, соответственно; итоговая оптимальная стоимость ресурсов $S^* = 504$ руб., $S^* = 501$ руб., $S^* = 500$ руб., соответственно.

Таким образом, определяется экономический эффект оптимизации (при производстве 1000 м.п. рассматриваемой группы тканей) за счёт изменения стоимости ресурсов (соответственно увеличение на 2 руб., уменьшение на 1 руб. и 2 руб.) и уменьшения времени обработки ткани в среднем на 5 %, 0 %, 2 % (что соответствует $\Delta T = -0,39$ час) в ценах базового расчётного года.

Годовой экономический эффект при производстве 110242 м.п. для рассматриваемой группы тканей в ценах базового расчётного года составил порядка - 0 руб., 59 руб., 245руб., соответственно.

Случай 3) Ниже приведены оптимизации итоги (время, общая стоимость ресурсов) и маршруты, согласно критерию оптимизации $S_{EnRes} \rightarrow \min$, где S_{Xim} – стоимость энергоресурсов ПП.

Маршруты

<0-1-4-7-8-10-13-14-15> ,

<0-2-4-7-8-10-13-14-15> ,

<0-3-4-7-8-10-13-14-15> .

Итоговое оптимальное время для каждого из маршрутов: $T^* = 6,87$ час; итоговая оптимальная стоимость ресурсов $S^* = 434$ руб., $S^* = 433$ руб., $S^* = 434$ руб., соответственно.

Таким образом, экономический эффект оптимизации (при производстве 1000 м.п. рассматриваемой группы тканей) за счёт уменьшения стоимости расхода энергоресурсов в среднем на 14 % (что соответствует 68 руб.) и уменьшения времени в среднем на 8 % (что соответствует $\Delta T = -0,63$ час) в ценах базового расчётного года.

Годовой экономический эффект при производстве 110242 м.п. для рассматриваемой группы тканей в ценах базового расчётного года составил порядка 7473 руб., 7537 руб., 7522 руб., соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борчик, Е. М. Определение оптимального технологического процесса производства готовой ткани / Е. М. Борчик, А. И. Степанов, А. В. Доронкин // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.], Могилев, 17–18 ноября 2011 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – С. 208.
2. Аверченков В.И. Многокритериальное управление технологическим процессом с использованием принципа оптимальности Беллмана / В.И. Аверченков, А.И. Якимов, Е.М. Борчик // Известия Волгоградского государственного технического университета – 2014. – № 25(152). – С. 95–101.
3. Доронкин, А. В. Моделирование производственного процесса крашения готовых тканей набивным способом / А. В. Доронкин, Д. В. Трынкин; науч. рук.: А. И. Якимов // 48-я студенческая научно-техническая конференция Белорусско-Российского университета: материалы конф., редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]; 23-24 мая 2012 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2012. – С. 73.
4. Йенсен, П. Потокное программирование: пер. с англ. / П. Йенсен, Д. Барнес. – М.: Радио и связь, 1984. – 392 с.: ил.
5. Сидоренко, В. Н. Системно-динамическое моделирование в среде Powersim : справ. по интерфейсу и функциям / В. Н. Сидоренко. – М.: МАКС пресс, 2001. – 159 с.
6. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов / В.Е.Гмурман. – М. : Высш. шк., 2003. – 478 с.
7. Большев, Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
8. Кендалл, М. Теория распределений: пер. с англ. / М. Кендалл, А. Стюарт. – М.: Наука, 1966. – 588 с.
9. Якимов, А. И. Технология имитационного моделирования систем управления промышленных предприятий: монография / А. И. Якимов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 304 с.

AUTOMATION OF CALCULATION OF COST OF RESOURCES IN THE MANUFACTURING PROCESS OF FABRICS

E.M. Borchik

JSC «Mogotex», Mogilev, Republic of Belarus

Abstract: The article presents a simulation model for the manufacturing process of fabric, built in imitation Powersim system, to automate the calculation of the cost of resources at the optimum combination of technological modes. The problem of determining the optimal combination of technological modes in the manufacturing process of a certain type of fabric under the criterion of minimizing the cost of resources and the time spent solved using streaming programming as a problem determining the shortest path or minimum resource consumption. Obtained a combination of technological modes with a minimum and maximum value of the cost of resources, as the best and the worst result of the use of existing equipment. The algorithm simulation model integration into a corporate enterprise information system through the use of complex software and information tools, including MExcel and PowerSim.

Keywords: threading model, simulation model, information system, resources.

REFERENCES

1. Borchik, E. M. *Opređenje optimal'nogo tekhnologičeskogo protsessa proizvodstva gotovoy tkani* [Determination of the optimal technological process of production of the finished fabric] / EM Borchik, AI Stepanov, AV Doronkin // New materials, equipment and technologies in the industry: Proceedings of the international. scientific and engineering. Conf. young. scientists; the Editorial.: Igor Sazonov (Sec Ed.). [et al.], Mogilev, 17-18 November, 2011 - Mogilev: Belorus. Ros. University Press, 2011. - 208 pp.
2. Averchenkov, V. I. *Mnogokriterial'noe upravlenie tekhnologičeskim protsessom s ispol'zovaniem printsipa optimal'nosti Bellmana* [Multicriteria process control using the principle of Bellman] / VI optimality Averchenkov, AI Yakimov, EM Borchik // Proceedings of Volgograd State Technical University - 2014. - № 25 (152). - P. 95-101.
3. Doronkin, A. V. *Modelirovanie proizvodstvennogo protsessa krasheniya gotovykh tkaney nabivnym sposobom* [Modeling of the production process coloring finished fabric printed way] / A.V. Doronkin, D.V. Trynkin; scientific. Hand.: AI Yakimov // 48th Student Scientific and Technical Conference of the Belarusian-Russian University: Materials Conf, the Editorial.: Igor Sazonov (Sec Ed.). [et al.]. May 23-24, 2012 - Mogilev: Belorus. Ros. University Press, 2012. - P. 73.
4. Jensen, P. *Potokovoe programmirovaniye: per. s angl.* [The streaming programming: transl. from English.] / P. Jensen, D. Barnes. - M.: Radio and Communications, 1984. - 392 p.
5. Sidorenko, V.N. *Sistemno-dinamicheskoye modelirovanie v srede Powersim: sprav. po interfeysu i funktsiyam* [The system-dynamic modeling modeling in the Powersim: ref. the interface and functions] / V.N. Sidorenko. M.: MAKS Press, 2001. 159 p.



6. Gmurman, V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: Ucheb. posobie dlya vuzov* [Probability theory and mathematical statistics: manual for high schools] / V. E. Gmurman. – M.: High School, 2003. – 478 p.
7. Bolshev, L. N. *Tablitsy matematicheskoy statistiki* [Tables of mathematical statistics] / L. N. Bolshev, N. V. Smirnov. – M.: Science, 1983. – 416 p.
8. Kendall, M. *Teoriya raspredeleniy: per. s angl* [Distribution theory: translation from English] / M. Kendall, J. Stewart. – M.: Science, 1966. – 588 p.
9. Yakimov, A. I. *Tekhnologiya imitatsionnogo modelirovaniya sistem upravleniya promyshlennykh predpriyatiy: monografiya* [The simulation technology industrial control systems: monograph] / A. I. Yakimov. – Mogilev: Belarus.-Rus. Univ., 2010. – 304 p.

