

DOI: 10.36622/VSTU.2022.50.49.012

УДК 338.45

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ НА МНОГОПРЕДМЕТНОЙ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ СО СКОНЦЕНТРИРОВАННЫМ ВНУТРИЦИКЛОВЫМ ПРОСТОЕМ

Ю.Н. Кулакова

Уральский социально-экономический институт (филиал) ОУП ВО «АТuCO»
Россия, 454091, Челябинск, ул. Свободы, 155/1

Введение. В статье представлена модель управления производственными запасами промышленного предприятия при работе многопредметной поточной линии со сконцентрированным простоем в сравнении с моделью работы многопредметной поточной линии с оптимально (равномерно) распределенным простоем.

Данные и методы. Проведен сравнительный анализ значений нормировочного множителя, рекомендуемого в классической модели управления запасами Дж. Букана и Э. Кенигсберга и нормировочного множителя в авторской оптимизационной модели, построенной для многопредметной поточной линии, и показано, что общепринятое значение нормировочного множителя является лишь частным случаем, достигаемым при определенных условиях. Разработана модель, позволяющая рассчитать значение нормировочного множителя для многопредметной поточной линии со сконцентрированным простоем при различных вариантах относительной длительности изготовления партии изделий.

Полученные результаты. Показаны возможные преимущества принудительной синхронизации многопредметной прерывно-поточной линии при переводе ее в режим работы непрерывно-поточной линии с внутрицикловыми простоями. Определена экономическая эффективность такого перевода, в том числе рассчитана экономия оборотных средств, получаемая при реализации этого решения.

Заключение. Результаты исследования могут быть использованы для приращения научного знания в сфере управления производственными запасами промышленных предприятий, а также для повышения эффективности операционной деятельности предприятий, использующих многопредметные поточные линии.

Ключевые слова: управление запасами, многопредметная поточная линия, нормировочный множитель, сконцентрированный простой

Для цитирования:

Кулакова Ю.Н. Модель управления запасами на многопредметной поточной линии со сконцентрированным внутрицикловым простоем / Ю.Н. Кулакова // Организатор производства. 2022. Т.30. № 1. С. 121-131. DOI: 10.36622/VSTU.2022.50.49.012.

Сведения об авторах:

Юлия Николаевна Кулакова (Kulakova174@mail.ru),
доктор экон. наук, доцент, профессор кафедры менеджмента
и управления персоналом

Oh authors:

Julija N. Kulakova (Kulakova174@mail.ru), Doctor of Economics, Professor of the Department «Management and Human Resources Management»

INVENTORY MANAGEMENT MODEL ON A MULTI-SUBJECT PRODUCTION LINE WITH CONCENTRATED IN-CYCLE DOWNTIME

Yu.N. Kulakova

*Ural Socio-Economic Institute (branch) OUP VO "ATiSO"
Russia, 454091, Chelyabinsk, Svobody str., 155/1*

Introduction. The article presents a model for managing the production stocks of an industrial enterprise when operating a multi-subject production line with concentrated downtime in comparison with the model of a multi-subject production line with optimally (evenly) distributed downtime.

Data and methods. A comparative analysis of the values of the normalization multiplier recommended in the classical model of inventory management by J. Bukan and E. Koenigsberg and the normalization multiplier in the author's optimization model built for a multi-subject production line, and it is shown that the generally accepted value of the normalization multiplier is only a special case achieved under certain conditions. A model has been developed that allows calculating the value of the normalization multiplier for a multi-subject production line with concentrated downtime for various variants of the relative duration of manufacturing a batch of products.

The results obtained. The possible advantages of forced synchronization of a multi-subject discontinuous-flow line when transferring it to the operation mode of a continuous-flow line with intra-cycle downtime are shown. The economic efficiency of such a transfer is determined, including the savings of working capital obtained during the implementation of this solution.

Conclusion. The results of the study can be used to increase scientific knowledge in the field of production inventory management of industrial enterprises, as well as to improve the operational efficiency of enterprises using multi-subject production lines.

Keywords: inventory management, multi-subject production line, normalization multiplier, scon-centered simple

For citation:

Kulakova Yu.N. Inventory Management Model on a Multi-subject Production Line with concentrated Intra-cycle Downtime / Yu.N. Kulakova // Production organizer. 2022. Т. 30. № 1. P. 121-131. DOI: 10.36622/VSTU.2022.50.49.012.

Введение

Управление запасами является одним из важнейших аспектов операционной деятельности промышленного предприятия, и решения, направленные на экономию затрат в этой сфере, могут оказать существенное влияние на эффективность деятельности предприятия в целом. Рациональное управление запасами основывается на различных целевых критериях, одним из которых может выступать минимум оборотных средств, вложенных в запасы. Достичь этого минимума можно путем совершенствования организации производственной деятельности предприятия, в том числе производства на многопредметных поточных линиях. Вопросы рациональной организации деятельности предприятия на поточных линиях рассматриваются в классических работах Б.И. Кузина, В.Н. Юрьева,

Г.М. Шахдинарова [1], Р.Б. Чейза, Дж. Николаса, Ф. Роберта [2]. Развитие положений теории организации производства на многопредметных поточных линиях представлено в исследованиях Н. Слака, С. Чеймберса, Р. Джонстона [3], Дж. Хейзера и Б. Рендера [4] и ряда других авторов. Методы имитационного моделирования работы поточных линий применяются в работах И.В. Ревинной и Г.Н. Бояркина [5], статистический подход – в исследованиях О.М. Пигнастого [6]. Тем не менее в этой сфере остается еще немало направлений, требующих дальнейших исследований, в частности, представляет интерес моделирование работы поточных линий при различных условиях с целью определения оптимального (минимального) объема оборотных средств, инвестированных в запасы.

Минимизация оборотных средств, инвестированных в запасы, необходимые для обеспечения производственной деятельности, достигается путем оптимизации (минимизации) нормировочного множителя – показателя, с помощью которого оценивается соотношение фактической стоимости запасов с их максимально возможной стоимостью. Моделирование различных вариантов производственных процессов позволяет выявить условия, при которых нормировочный множитель приобретает оптимальное (минимальное) значение. Некоторые модели оптимизации нормировочного множителя при определенных ограничениях разработаны нами для многопредметной непрерывно-поточной линии [7]. В настоящей работе представлена разработка и исследование модели работы прерывно-поточной линии со сконцентрированным внутрицикловым простоем и ее сравнение с моделью прерывно-поточной линии с принудительной синхронизацией и распределенным простоем.

Теория

Понятие нормировочного множителя было введено Дж. Буканом и Э. Кенигсбергом в их классическом исследовании [8]. Нормировочный множитель представляет собой отношение максимума стоимости внутрициклового текущего запаса всех видов изделий (Y_{\max}) к сумме внутрицикловых максимумов стоимостей запасов всех видов изделий (Y_{Σ}):

$$k = \frac{Y_{\max}}{Y_{\Sigma}}. \quad (1)$$

Дж. Букан и Э. Кенигсберг считали, что значение нормировочного множителя заключено между нулем и единицей и рекомендовали принимать его равным 0,5. В нашем исследовании [7] было проанализировано поведение нормировочного множителя в многопродуктовой модели с мгновенными поставками, было введено понятие минимаксного (оптимального) нормировочного множителя, и получена формула для его расчета при условии одинаковой

стоимости поставок n видов товаров и одинакового периода поставок

$$K^{(n;=)} = \frac{Y_{\min\max}}{Y_{\Sigma}} = 0,5 \left(1 + \frac{1}{n}\right). \quad (2)$$

В работе [7] было показано, что нормировочный множитель асимптотически стремится к значению, равному 0,5, только при числе поставляемых товаров, стремящемся к бесконечности, а в реальных условиях его значение существенно выше. Использование на практике общепринятого значения нормировочного множителя равного 0,5 приводит к существенному искажению величины оборотных средств, инвестируемых в запасы, к возникновению дефицита оборотных средств, увеличению затрат на преодоление этого дефицита и к другим негативным финансовым последствиям.

Кроме того, нами было исследовано поведение нормировочного множителя в многопродуктовой модели с протяженной во времени поставкой, то есть при работе многопредметной непрерывно-поточной линии, и построена модель с двумя видами изделий при условии равенства стоимостей максимумов запаса изделий каждого вида $Y_1=Y_2=Y$ и равенства длительностей производственного периода изготовления одной партии i -го изделия $\tau_1=\tau_2=\tau$ в течение единого цикла T [7]. Минимаксное значение нормировочного множителя для двух видов изделий при указанных условиях составляет

$$K^{(2;=)} = 1 - \frac{0,25}{1 - \frac{\tau}{T}} \text{ при } \frac{\tau}{T} \leq 0,5. \quad (3)$$

Результаты расчетов параметров модели при различных вариантах отношения длительности производственного периода и длительности единого цикла показаны в таблице 1. Оптимальный относительный сдвиг момента запуска партии i -го изделия в производство относительно длительности единого цикла обозначен θ_{ni}^*/T .

Параметры модели многопредметной непрерывно-поточной линии с двумя видами изделий при $Y_1=Y_2=Y$, $\tau_1=\tau_2=\tau$ [7]
Multi-subject continuous production line model parameters with two types of products with $Y_1=Y_2=Y$, $\tau_1=\tau_2=\tau$ [7]

τ/T	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
θ_{n1}^*/T	0,500	0,450	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	0,050	0,000
$Y_{\min\max}/Y$	1,5000	1,4737	1,4444	1,4118	1,3750	1,3333	1,2857	1,2308	1,1667	1,0909	1,0000
$K^{(2;=)}$	0,7500	0,7368	0,7222	0,7059	0,6875	0,6667	0,6429	0,6154	0,5833	0,5455	0,5000

Как видно из таблицы 1, минимаксное значение нормировочного множителя при производстве двух видов изделий с равными производственными периодами варьируется от 0,5 до 0,75 в зависимости от соотношения между длительностью производственного периода и длительностью единого цикла. Рекомендуемое в литературе значение нормировочного множителя 0,5 встречается только один раз – в предельном случае, когда отношение длительностей производственных периодов составляет $\tau/T=0,5$, а относительные оптимальные сдвиги $\theta_{n1}^*/T=\theta_{n2}^*/T=0$ и, следовательно, отсутствуют внутрицикловые простои многопредметной непрерывно-поточной линии. Во всех остальных случаях величина минимаксного значения нормировочного множителя выше, и относительное отклонение фактического значения этого показателя от общепринятого значения может достигать 50%, что, безусловно, негативно сказывается на точности расчета величины оборотных средств, инвестируемых в производственные запасы.

В целях дальнейшего развития комплекса моделей управления запасами представляется необходимым построить модель работы многопредметной прерывно-поточной линии для того, чтобы оценить поведение нормировочного множителя и возможности оптимизации этого показателя в рассматриваемом случае.

Данные и методы

Проведем сравнение двух наиболее характерных вариантов организации работы многопредметной поточной линии:

- 1) со сконцентрированным внутрицикловым простоем, что характерно для организации работы многопредметной прерывно-поточной линии;
- 2) с оптимально распределенными внутрицикловыми простоями (минимаксная модель), что характерно для многопредметной непрерывно-поточной линии.

Прерывно-поточную линию можно «заставить» работать как непрерывно-поточную, если длительности всех операций «сделать» равными или кратными такту линии. Для этого условно добавим к фактической длительности каждой операции длительность внутрициклового простоя, который возникнет, если такую по длительности не равную или не кратную такту операцию принудительно синхронизировать тактом линии.

Принудительная синхронизация работы многопредметной прерывно-поточной линии для перевода ее в режим работы непрерывно-поточной линии с внутрицикловыми простоями экономически обоснована, если удастся реализовать одну или несколько из следующих появляющихся возможностей:

1) есть целесообразность увеличить штучную норму времени t_i на одной или нескольких операциях вплоть до величины $t_i'=q_i \times r$, где q_i – установленное число станков на i -й операции, а r – такт линии, если у этих операций имеет место чрезмерно напряженное ручное время tr_i , что приводит к усталости рабочих и/или повышенному браку на этих операциях; в результате такого решения снижаются затраты, связанные с браком;

2) есть целесообразность увеличить штучную норму времени t_i на одной или нескольких операциях до величины t_i' , если у этих операций имеет место чрезмерно напряженное машинное время tm_i , что приводит к ускоренному выходу из строя или поломкам инструмента, браку и т.д., при реализации такого решения уменьшаются соответствующие затраты;

3) увеличение нормы штучного времени t_i на одной или нескольких операциях улучшает соотношение tr_i/t_i , что снижает долю ручного труда в составе синхронизированной операции по сравнению с долей в исходной длительности, и это, в свою очередь, приводит к появлению

дополнительных возможностей по организации многостаночной работы на линии, что позволяет сократить численность рабочих, занятых на линии, и, таким образом, снизить затраты на оплату труда;

4) синхронизация всех операций прерывно-поточной линии расчетным тактом линии влечет за собой ликвидацию межоперационных оборотных заделов, являющихся главной частью заделов в прерывно-поточной линии, далеко превосходящих по объемам два остальных задела – технологический и транспортный, что снижает затраты на поддержание этих заделов;

5) отпадает необходимость в выделении площадей и создании емкостей для хранения отсутствующих межоперационных оборотных заделов, что приводит к снижению затрат на производство продукции;

6) синхронизация работы прерывно-поточной линии расчетным тактом, согласованным с ритмом работы потребителя изделий линии, позволяет ликвидировать оборотные заделы между выходной операцией линии и входной операцией потребителя (например, главного конвейера);

7) если не удастся рационально использовать сконцентрированный простой прерывно-поточной линии для выполнения внелинейных работ.

Преимущества синхронизации производственных процессов для повышения эффективности деятельности предприятия раскрываются в работах ряда авторов, в частности, о них говорит В.Н. Родионова, предложившая в своей работе механизм синхронизации процессов производства [9].

Условия синхронизации поточных линий для социально-ориентированных производств рассматриваются в статье Е.М. Якутина [10].

Ф.В. Гречников и А.В. Кобенко считают особенно важным синхронизировать работу поточных линий в цехах с большой номенклатурой выпуска продукции [11].

Для оценки влияния синхронизации линий на показатели производительности компании М.Л. Файнберг, Д. Хартманн, Т. Хаттинг разработали модель, которая учитывает время, качество и мощность оборудования, и доказали, что синхронизация линии дает поставщику несколько преимуществ: уменьшение размера партии, снижение уровня запасов и связанное с

этим сокращение времени выполнения заказа [12].

Модель

Построим модель работы многопредметной поточной линии и оценим величину нормировочного множителя.

Обозначения, принятые при построении модели:

- T - длительность единого цикла производства n видов изделий в многопредметной поточной линии, мин;
- n - число видов изделий, изготавливаемых в течение единого производственного цикла, ед.;
- i - порядковый номер вида изделий, изготавливаемых в течение единого производственного цикла многопредметной поточной линии, ед.;
- τ_i - длительность производственного периода изготовления одной партии изделий i -го вида в течение единого производственного цикла T , мин;
- θ_c - длительность сконцентрированного внутрициклового простоя, мин;
- t_i - штучная норма времени i -й операции, мин;
- q_{pi} - расчетное число станков на i -й операции.

Расчетное число станков на i -й операции $q_{pi} = t_i/g$ в общем случае будет являться дробным числом. Принятое число станков $q_i =]q_{pi}[= [q_{pi}] + 1$, а условная (синхронизированная тактом g) штучная норма времени на операцию составит $t_i' = q_i \times g \geq t_i$. Положительная разность $t_i' - t_i$, равная $q_i \times g - t_i = \tau_{pi}$, является внутрицикловым простоем каждого закрепленного за i -й операцией станка, мин. Возникающий при этом частный цикл работы на i -й операции равен T_{ci} .

С целью получения сопоставимых аналитических результатов введем в условие модели следующие упрощения:

- 1) длительности производственных периодов изготовления всех партий изделий равны друг другу, $\forall \tau_i = \tau = \text{const}$, мин;
- 2) стоимости внутрицикловых максимумов запасов каждого вида изготавливаемых изделий равны друг другу, $\forall Y_i = Y = \text{const}$, руб.;
- 3) запуск партий изделий происходит последовательно с начала цикла;
- 4) сдвиг момента запуска очередной (кроме первой в цикле) партии изделий по отношению к

моменту окончания изготовления предыдущей партии изделий отсутствует, $\forall \theta_i=0, i=2 \dots n$, мин;

5) сдвиг момента запуска первой в цикле партии изделий по отношению к моменту окончания обработки последней партии в предшествующем цикле представляет собой сконцентрированный внутрицикловый простой многопредметной поточной линии, равный

$$\theta_c = T - n\tau \quad (4)$$

Эта величина $\theta_c \geq 0$, иначе многопредметная поточная линия окажется неспособной справиться с производственным заданием.

Из формулы (4) легко получить соотношение между относительной длительностью сконцентрированного внутрициклового простоя (θ_c/T) и относительной длительностью изготовления партии изделий (τ/T):

$$\frac{\theta_c}{T} = \frac{T - n\tau}{T} = 1 - n \frac{\tau}{T} \geq 0, 0 \leq \frac{\tau}{T} \leq \frac{1}{n}. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что если относительная длительность изготовления партии изделий $\frac{\tau}{T}$ превзойдет величину $\frac{1}{n}$, то поточная линия будет неспособна выполнить производственное задание.

Графики функции относительной длительности сконцентрированного внутрициклового простоя для различных значений n (числа видов изготавливаемых изделий) показаны сплошными линиями на рисунке. Штриховыми линиями показаны значения оптимально распределенных внутрицикловых простоев.

Как было сказано ранее, нормировочный множитель представляет собой отношение максимума стоимости внутрициклового текущего запаса всех видов изделий (Y_{max}) к сумме внутрицикловых максимумов стоимостей запасов всех видов изделий (Y_{Σ}) (формула 1).

Сумма внутрицикловых максимумов (Y_{Σ}) не зависит от распределения моментов запуска партий отдельных видов изделий в производство и равна в нашем случае

$$\begin{aligned} Y_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{i=1}^n Y \\ &= nY. \end{aligned} \quad (6)$$

Числитель выражения (1), напротив, существенно зависит от распределения моментов запуска партий отдельных видов изделий в производство. Оптимальное решение предусматривает равномерно распределенные вдоль оси запуски с одинаковым относительным сдвигом равным

$$\frac{\theta^*}{T} = \frac{T - n\theta}{Tn} = \frac{1}{n} - \frac{\tau}{T}. \quad (7)$$

Конечный вид выражения для расчета нормировочного множителя для многопредметной поточной линии со сконцентрированным внутрицикловым простоем следующий:

$$k^{(n;=)} = \frac{Y_{max}}{Y_{\Sigma}} = \frac{nY}{nY} \left(1 - \frac{n-1}{2} \cdot \frac{\tau/T}{1-\tau/T} \right) = 1 - \frac{n-1}{2} \cdot \frac{\tau/T}{1-\tau/T}. \quad (8)$$

Для сравнения приведем минимаксное (оптимальное) значение нормировочного множителя для тех же исходных данных [7]:

$$K^{(n;=)} = 1 - \frac{n-1}{2n} \cdot \frac{1}{1-\tau/T}. \quad (9)$$

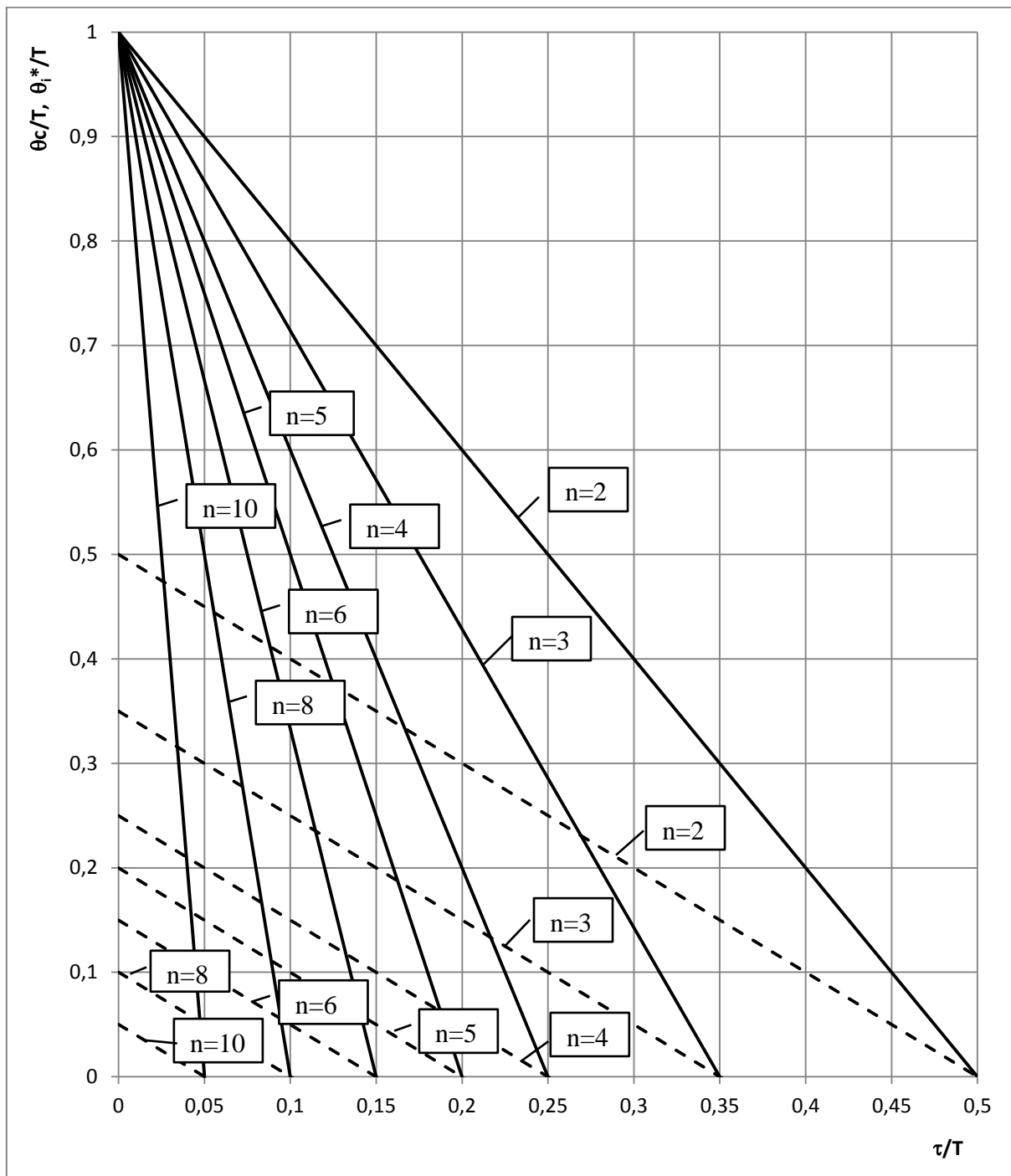
Резерв снижения оборотных средств, связанных во внутрицикловых запасах готовых изделий, при переходе от работы многопредметной поточной линии со сконцентрированным внутрицикловым простоем к оптимальному графику (с равномерным простоем), можно рассчитать по формуле

$$r_n = \frac{k^{(n;=)} - K^{(n;=)}}{K^{(n;=)}} 100\% = \left(1 - \frac{K^{(n;=)}}{k^{(n;=)}} \right) 100\%. \quad (10)$$

Полученные результаты

Получена формула для расчета нормировочного множителя для заданных условий работы многопредметной поточной линии со сконцентрированным внутрицикловым простоем.

Рассчитаны резервы снижения оборотных средств, связанных во внутрицикловых запасах готовых изделий, при переходе от работы многопредметной поточной линии со сконцентрированным внутрицикловым простоем к оптимальному графику (таблица 2).



Зависимость относительных внутрицикловых простоев: сконцентрированного (θ_c/T , сплошные линии) и оптимально распределенных (θ_i^*/T , штриховые линии) от относительной длительности производственного периода (τ/T) при различных значениях числа видов изготавливаемых изделий (n)
 Dependence of relative inner-cycle downtime: concentrated (θ_c/T , solid lines) and optimally distributed (θ_i^*/T , dashed lines) on the relative duration of the production period (τ/T) for different values of the number of types of manufactured products (n)

Таблица 2

Расчет резерва экономии оборотных средств при переходе от модели многопредметной поточной линии со сконцентрированным простоем к оптимальной модели с равномерно распределенным простоем [7]
 Calculation of the reserve of working capital savings when switching from a multi-subject production line model with concentrated downtime to the optimal model with evenly distributed downtime [7]

n	τ/T	0,012 5	0,025	0,037 5	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,167	0,200	0,250	0,300	0,333	0,30	0,400	0,450	0,500
2	θ_c/T	0,975	0,950	0,925	0,900	0,850	0,800	0,750	0,700	0,667	0,600	0,500	0,400	0,333	0,300	0,200	0,100	0
	T	0,993	0,987	0,980	0,973	0,959	0,944	0,928	0,911	0,900	0,875	0,833	0,785	0,750	0,730	0,666	0,590	0,500
	k	7	2	5	7	5	4	6	8	0	3	7	0	8	7	9	0	0
	K	0,746	0,743	0,740	0,736	0,729	0,722	0,714	0,705	0,700	0,687	0,666	0,642	0,625	0,615	0,583	0,545	0,500
	r_n	8	6	3	8	7	2	3	9	0	5	7	9	0	4	3	5	0
		24,84	24,68	24,50	24,33	23,94	23,53	23,08	22,58	22,22	21,43	20,00	18,18	16,67	15,79	12,50	7,69	0
3	θ_c/T	0,962	0,925	0,887	0,850	0,775	0,700	0,625	0,550	0,500	0,400	0,250	0,100	0	-	-	-	-
	T	5	0,974	5	0,947	0,918	0,888	0,857	0,823	0,800	0,750	0,666	0,571	0,500	-	-	-	-
	k	0,987	4	0,961	4	9	9	1	5	0	7	4	0	0	-	-	-	-
	K	3	0,658	0	0,649	0,639	0,629	0,619	0,607	0,600	0,583	0,555	0,523	0,500	-	-	-	-
	r_n	0,662	1	0,653	1	6	6	0	8	0	3	6	8	0	-	-	-	-
		4	32,46	7	31,49	30,39	29,17	27,78	26,19	25,00	22,22	16,67	8,33	0	-	-	-	-
		32,91		31,98														
4	θ_c/T	0,950	0,900	0,850	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,333	0,200	0	-	-	-	-	-	-
	T	0,981	0,961	0,941	0,921	0,878	0,833	0,785	0,735	0,700	0,625	0,500	-	-	-	-	-	-
	k	0	5	6	1	4	3	7	3	0	0	0	-	-	-	-	-	-
	K	0,620	0,615	0,610	0,605	0,594	0,583	0,571	0,558	0,550	0,531	0,500	-	-	-	-	-	-
	r_n	3	4	4	3	6	3	4	8	0	3	0	-	-	-	-	-	-
		36,77	36,00	35,17	34,29	32,31	30,00	27,27	24,00	21,43	15,00	0	-	-	-	-	-	-
5	θ_c/T	0,937	0,875	0,812	0,750	0,625	0,500	0,375	0,250	0,165	0	-	-	-	-	-	-	-
	T	5	0,948	5	0,894	0,837	0,777	0,714	0,647	0,600	0,500	-	-	-	-	-	-	-
	k	0,974	7	0,922	7	8	8	3	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-
	K	7	0,589	0	0,578	0,567	0,555	0,542	0,529	0,520	0,500	-	-	-	-	-	-	-
	r_n	0,594	7	0,584	9	6	6	9	4	0	0	-	-	-	-	-	-	-
		9	37,84	4	35,30	32,26	28,57	24,00	18,18	13,33	0	-	-	-	-	-	-	-
		38,96		36,62														
6	θ_c/T	0,925	0,850	0,775	0,700	0,550	0,400	0,250	0,100	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	0,968	0,935	0,902	0,868	0,797	0,722	0,647	0,558	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-
	k	4	9	6	4	3	2	1	8	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	K	0,578	0,572	0,567	0,561	0,549	0,537	0,523	0,509	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-
	r_n	1	6	1	4	5	0	8	8	0	-	-	-	-	-	-	-	-
		40,31	38,81	37,17	35,35	31,07	25,64	18,52	8,77	0	-	-	-	-	-	-	-	-
8	θ_c/T	0,900	0,800	0,700	0,600	0,400	0,200	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	0,955	0,910	0,863	0,815	0,716	0,611	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	k	7	3	6	8	2	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	K	0,557	0,551	0,545	0,539	0,527	0,513	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	r_n	0	3	5	5	0	9	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		41,72	39,44	36,84	33,87	26,42	15,91	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	θ_c/T	0,875	0,750	0,625	0,500	0,250	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	0,943	0,884	0,824	0,763	0,635	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	k	0	6	7	2	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	K	0,544	0,538	0,592	0,526	0,513	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	r_n	3	5	5	3	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		42,28	39,13	35,44	31,04	19,15	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	θ_c/T	0,750	0,500	0,250	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	0,879	0,756	0,629	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	k	7	4	9	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	K	0,519	0,512	0,506	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	r_n	0	8	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		41,00	32,20	19,59	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

В таблице 2 представлен расчет параметров модели со сконцентрированным простоем: относительного сконцентрированного простоя (θ_c/T), нормировочных множителей: при сконцентрированном простое (k) и минимаксного (K), а также резерва снижения нормировочного множителя при переходе к оптимальному графику загрузки многопредметной поточной линии (r_n) как функ-

ций относительного производственного периода (τ/T) при разном числе видов изделий (n).

Анализ результатов расчетов, представленных в таблице 2, показал, что резерв экономии оборотных средств, обусловленный переходом поточной линии от работы со сконцентрированным внутрицикловым простоем к работе с оптимально распределенным (равномерным) простоем, может достигать очень существенных

значений. Так, например, при обработке двух видов изделий экономия оборотных средств может составлять 24,84%, при обработке пяти видов изделий 38,96%, десяти видов изделий – 42,28%.

Кроме очевидного экономического эффекта в виде экономии оборотных средств при переходе поточной линии к работе с распределенным простоем, могут возникать и другие позитивные эффекты. Так, например, увеличение длительности единого производственного цикла за счет включения в него распределенного простоя может позволить усовершенствовать организацию производства путем внедрения многостаночного обслуживания. В случае, если длительность производственного цикла при работе поточной линии со сконцентрированным простоем была недостаточной для организации многостаночного обслуживания, добавление времени распределенного простоя может стать именно тем резервом времени, который позволит реализовать многостаночное обслуживание. К схожим выводам приходит в своих научных исследованиях М.В. Волкова [13].

Рациональное проектирование поточной линии и расстановка рабочих по операциям позволяет снизить затраты на оплату труда, повысить производительность труда, сократить нерациональный простой рабочих и станков, минимизировать избыточные межоперационные заделы, уменьшить величину оборотных средств и, в конечном счете, повысить эффективность операционной деятельности предприятия.

Минимаксные значения нормировочного множителя достигаются при равномерном распределении относительных сдвигов запуска партий очередных изделий, другими словами, оптимальные значения относительных сдвигов равны между собой. Тем не менее в литературе нередко рекомендуется концентрировать внутрицикловый простой многопредметной непрерывно-поточной линии в конце каждого производственного цикла (см., например, учебник по производственному менеджменту под ред. В.А. Козловского [14], статью А.И. Рузанова, П.А. Рузанова [15]). Такая форма организации производства встречается и на практике. Однако, как показывает моделирование, нормировочный множитель в этом случае достигает своего максимального, то есть наихудшего по сравнению с минимаксным значения.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что повышение эффективности деятельности промышленного предприятия может идти в направлении поиска резервов снижения величины оборотных средств и длительности их оборота путем научной организации управления производственными запасами предприятия. Стремление к внедрению оптимальных параметров поставки входящих материальных запасов и оптимальных параметров формирования запасов в незавершенном производстве позволяет добиться существенной экономии затрат.

В результате реализации разработанных оптимизационных моделей управления производственными запасами промышленного предприятия может быть достигнуто снижение темпа прироста оборотных средств и темпа прироста длительности их оборота вплоть до превращения их в отрицательную величину, что, в конечном счете, может привести к повышению эффективности операционной деятельности предприятия.

Библиографический список

1. Кузин, Б.И. Методы и модели управления фирмой / Б.И. Кузин, В.Н. Юрьев, Г.М. Шахдинаров. - СПб.: Питер, 2001. – 432 с.
2. Чейз, Ричард Б. Производственный и операционный менеджмент / Ричард Б. Чейз, Дж. Николс, Ф. Роберт: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 704 с.: илл.
3. Слак, Н. Организация, планирование и проектирование производства: операционный менеджмент / Найджел Слак, Стюарт Чеймберс, Роберт Джонстон: Пер. с англ. – М.: Инфра-М, 2009. – 789 с.
4. Хейзер, Дж. Операционный менеджмент / Дж. Хейзер, Б. Рендер: Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2016. – 1056 с.
5. Ревина, И.В. Имитационное моделирование производственного процесса изготовления деталей / И.В. Ревина, Г.Н. Бояркин // Омский научный вестник. - 2018. - № 6 (162). - С.230–234. - DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-230-234.
6. Pihnastyi, O.M. (2018) Statistical theory of control systems of the flow production / O.M. Pihnastyi. - LAP LAMBERT Academic Publishing. 436 p. ISBN: 978-613-9-95512-1.

7. Кулакова, Ю.Н. Формирование и реализация стратегии операционной деятельности промышленного предприятия: теория и методология: дисс. ... доктора экономических наук. – Челябинск, 2020. – 455 с.

8. Букан, Дж. Научное управление запасами / Дж. Букан, Э. Кенигсберг: Пер. с англ. – М.: Наука, 1967. – 424 с.

9. Родионова, В.Н. Понятие и механизм синхронизации производственных процессов / В.Н. Родионова // Организатор производства. – 2010. – №3 (46). – С.15–18.

10. Якутин, Е.М. Синхронизация непрерывно-поточных линий в условиях социально-ориентированных производств / Е.М. Якутин // Тренды и управление. – 2017. – № 1. – С.75-79. DOI: 10.7256/2454-0730.2017.1.17707. – URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=17707.

11. Гречников, Ф.В. Модель комплектования заказа на автомобильном рынке и организация процессов синхронизации сборочных операций на конвейере // Ф.В. Гречников, А.В. Кобенко. – Вектор науки ТГУ. Серия: Экономика и управ-

ление. – 2016. – № (26). – С.18-23. – DOI: 10.18323/2221-5689-2016-3-18-23.

12. Fienberg, M.L. (2016) Strategic production line synchronization / M.L. Fienberg, D. Hartmann, T. Hattingh // South African Journal of Industrial Engineering. August 2016. Vol.27 (2), pp. 218-233. DOI <http://dx.doi.org/10.7166/27-2-1391>.

13. Волкова, М.В. Разработка методических подходов по совершенствованию организации и управления производством на прямоточных линиях машиностроительных предприятий: автореф. дис... канд. экон. наук: 08.00.05 / Волкова Марина Владимировна. – Барнаул, 2010. – 23 с.

14. Производственный менеджмент: Учебник / Под ред. В.А. Козловского. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 574 с.

15. Рузанов, А.И. О новых возможностях экономико-математического моделирования с использованием производственных функций / А.И. Рузанов, П.А. Рузанов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. – 2015.

Поступила в редакцию – 24 февраля 2022 г.

Принята в печать – 28 февраля 2021 г.

Bibliography

1. Kuzin, B.I. Methods and models of firm management / B.I. Kuzin, V.N. Yuryev, G.M. Shakhdinarov. - St. Petersburg: Peter, 2001-- - 432 p.

2. Chase, Richard B. Production and operational management / Richard B. Chase, J. Nichols, F. Robert: Translated from English - M.: Williams Publishing House, 2004. - 704 p.: fig.

3. Slack, N. Organization, planning and design of production: operational management / Nigel Slack, Stuart Chambers, Robert Johnston: Translated from English - M.: Infra-M, 2009. - 789 p.

4. Heizer, J. Operational management / J. Heizer, B. Render: Translated from English - St. Petersburg: Peter, 2016. - 1056 p.

5. Revina, I.V. Simulation modeling of the production process of manufacturing parts / I.V. Revina, G.N. Boyarkin // Omsk Scientific Bulletin. - 2018. - № 6 (162). - Pp.230-234. - DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-230-234.

6. Pihnastyi, O.M. (2018) Statistical theory of control systems of the flow production / O.M. Pihnastyi. - LAP LAMBERT Academic Publishing. 436 p. ISBN: 978-613-9-95512-1.

7. Kulakova, Yu.N. Formation and implementation of the operational strategy of an industrial enterprise: theory and methodology: diss. ... Doctor of Economics. - Chelyabinsk, 2020-- - 455 p.

8. Bukan, J. Scientific management of reserves / J. Bukan, E. Konigsberg: Translated from English - M.: Nauka, 1967-- - 424 p.

9. Rodionova, V.N. The concept and mechanism of synchronization of production processes / V.N. Rodionova // Organizer of production. – 2010. – №3 (46). – Pp.15-18.

10. Yakutin, E.M. Synchronization of continuous production lines in conditions of socially-oriented productions / E.M. Yakutin // Trends and management. - 2017. - No. 1. - pp.75-79. DOI: 10.7256/2454-0730.2017.1.17707. – URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=17707 .

11. Grechnikov, F.V. The model of order acquisition in the automotive market and the organization of synchronization processes of assembly operations on the conveyor // F.V. Grechnikov, A.V. Kobenko. - Vector of science TSU. Series: Economics and Management. – 2016. – № (26). – Pp.18-23. - DOI: 10.18323/2221-5689-2016-3-18-23.

12. Fienberg, M.L. (2016) Strategic production line synchronization / M.L. Fienberg, D. Hartmann, T. Hattingh // South African Journal of Industrial Engineering. August 2016. Vol.27 (2), pp. 218-233. DOI <http://dx.doi.org/10.7166/27-2-1391>.

13. Volkova, M.V. Development of methodological approaches to improve the organization and management of production on direct-flow lines of machine-building enterprises: abstract. dis... Candidate of Economic Sciences: 08.00.05 / Volkova Marina Vladimirovna. - Barnaul, 2010. - 23 p.

14. Production Management: Textbook / Edited by V.A. Kozlovsky. - M.: INFRA-M, 2003. - 574 p.

15. Ruzanov, A.I. On new possibilities of economic and mathematical modeling using production functions / A.I. Ruzanov, P.A. Ruzanov // Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky. Series: Social Sciences. – 2015.

Received – 24 February 2022

Accepted for publication – 28 February 2022