

ных цепей. В расчетах опущена одинаковая для всех угловых допусков базовая длина (100 мм).

$$T\alpha_1 = 0,8 \geq T\gamma_1 + T\beta_2 + T\beta_1 + T\gamma_4 = 0,37 + 0,16 + 0,16 + 0,05 = 0,74$$

$$T\alpha_2 = 0,2 \geq T\gamma_4 = 0,05 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_3 = 0,2 \geq T\gamma_5 = 0,15 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_4 = 0,1 \geq T\gamma_3 = 0,065 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_5 = 0,2 \geq T\gamma_3 + T\gamma_6 = 0,065 + 0,05 = 0,115 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_6 = 0,2 \geq T\gamma_7 + T\gamma_6 = 0,05 + 0,05 = 0,1 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_7 = 0,8 \geq T\beta_1 + T\beta_3 = 0,16 + 0,16 = 0,32 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_9 = 0,5 \geq T\beta_8 = 0,5 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_{10} = 0,05 \geq T\gamma_9 = 0,02 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_{11} = 0,2 \geq T\gamma_{10} = 0,08 \text{ - выполняется.}$$

По результатам расчета взаимосвязей допусков можно сделать вывод, что для обеспечения точности угловых размеров вокруг оси X техпроцесс приемлем.

По остальным уравнения вычислим максимально возможные погрешности перекосов:

$$\rho_{n1} = T\beta_2 + T\gamma_1 = 0,16 + 0,37 = 0,53 \text{ мм;}$$

$$\rho_{n2} = T\beta_4 + T\gamma_1 = 0,05 + 0,37 = 0,42 \text{ мм;}$$

$$\rho_{n3} = T\beta_3 + T\gamma_2 = 0,065 + 0,15 = 0,215 \text{ мм;}$$

$$\rho_{n4} = \sqrt{T\gamma_2^2 + T\gamma_1^2 + T\beta_3^2 + T\beta_2^2 + T\beta_4^2} = \sqrt{0,15^2 + 0,37^2 + 0,16^2 + 0,16^2 + 0,5^2} = 0,678 \text{ ;}$$

$$\rho_{n5} = \sqrt{T\gamma_6^2 + T\gamma_1^2 + T\beta_2^2 + T\beta_5^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,37^2 + 0,16^2 + 0,16^2} = 0,437 \text{ ;}$$

$$\rho_{n6} = \sqrt{T\gamma_7^2 + T\gamma_1^2 + T\beta_2^2 + T\beta_6^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,37^2 + 0,16^2 + 0,16^2} = 0,437 \text{ ;}$$

$$\rho_{n7} = \beta_7 = 0,5 \text{ мм;}$$

$$\rho_{n8} = \gamma_8 = 0,075 \text{ мм.}$$

Эти погрешности в значительной степени определяют неравномерность припусков, снимаемых с соответствующих поверхностей, а, следовательно, влияют на неравномерность сил резания и точности формы поверхностей. При сравнении нескольких вариантов техпроцессов, путем их размерного анализа, следует выбирать тот, при котором погрешности перекосов меньше.

**Заключение.** В ходе теоретических исследований выявлены особенности оценки приемлемости техпроцессов механической обработки по точности угловых размеров деталей методом графов. Апробирование предлагаемой усовершенствованной методики на большом числе техпроцессов доказывает ее работоспособность. Применение данной методики на стадии проектирования техпроцессов позволит повысить качество технологической подготовки производства.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Махаринский, Е. И. Основы технологии машиностроения : учебник / Е. И. Махаринский, В. А. Горохов – Минск : Выш. шк., 1997.
2. Проектирование технологии : учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / И. М. Баранчукова, А. А. Гусев, Ю. Б. Крамаренко [и др.]; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1990. – 416 с.
3. Косилова, А. Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении : справочник технолога / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков, М. А. Калинин – М. : Машиностроение, 1976. – 288 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя : в 2-х т. – Т. 1 / Под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 914 с.
5. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85 – М. : Издательство стандартов, 1985. – 55 с.

26.10.2019

#### MEDVEDEV O. A. Analysis of the relationship between angular parts formed by mechanical processing

In order to improve the methodology for assessing the acceptability of technical processes, a number of features of drawing up graphs and equations of angular dimensional connections have been identified, and also features of solving such equations. Graphs and equations of angular dimensional bonds should be made and solved before graphs and equations of linear dimensional bonds. Full information about such connections contains the original and technological graphs for the three coordinate planes of the part. When identifying technological angular dimensions, it is necessary to take into account the technological bases, orienting blanks in angular coordinate directions. This is an example of the application of a technique that improves the quality of production preparation.

629.113:004.94

**Введение.** При проектировании и реконструкции организаций автомобильного сервиса (ОАС) возникает задача оптимизации структуры производственных подразделений по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, т. е. определение оптимального количества постов технического обслуживания (ТО) и ремонта по критерию максимальной прибыли.

Для моделирования структуры подразделений по ТО и ремонту автомобилей широко используются теория массового обслуживания

и имитационное моделирование. Одним из преимуществ имитационного моделирования является возможность задавать требуемые законы распределения потока требований на обслуживания и потока обслуживания, а также отслеживать поведение системы во времени.

**Целью данной работы** является сравнительный анализ моделей для имитационного моделирования процессов функционирования производственных подразделений организаций автосервиса и выбор критерия оптимальности на примере оптимизации количества

**Монтик Сергей Владимирович**, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой «Машиностроение и эксплуатация автомобилей» Брестского государственного технического университета.

**Санюкевич Федор Михайлович**, к. т. н., доцент, доцент кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей» Брестского государственного технического университета.

**Головач Анна Петровна**, старший преподаватель кафедры «Инженерная экология и химия» Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

постов коммерческой мойки на станции технического обслуживания автомобилей (СТОА).

**Методика проведения исследований.** В качестве объекта для моделирования и оптимизации рассматривался процесс функционирования коммерческой ручной (с использованием моечных установок высокого давления) мойки автомобилей. При оптимизации количества постов коммерческой мойки автомобилей важным вопросом является определение условий увеличения количества постов мойки, например, перехода от одного к двум постам.

Первоначально проводился расчет количества постов уборочно-моечных работ (УМР) при выполнении их ручным способом по типовой детерминированной методике, изложенной в [1, 2]:

$$X = \frac{T \cdot \varphi}{T \cdot P \cdot \eta}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – коэффициент неравномерности поступления автомобилей на пост,  $\varphi = 1,4$ ;

$T$  – число дней работы в году;

$P$  – число смен;

$T$  – продолжительность смены;

$\eta$  – коэффициент использования рабочего времени поста,  $\eta = 0,92$ ;

$P$  – среднее число одновременно работающих на посту, 2 чел.;

$T$  – годовой объем уборочно-моечных работ, чел.-ч., который зависит от количества заездов автомобилей в год на уборочно-моечные работы.

Режим работы постов составлял 302 дня в году, в одну смену, длительность смены 8 часов. При ручной мойке разовая трудоемкость  $t$  мойки и уборки составляет 0,5 чел.-ч.[1].

В дальнейшем при расчете количество заездов автомобилей на СТОА для выполнения уборочно-моечных работ изменялось таким образом, чтобы расчетное количество постов изменялось от 0,8 до 1,5 постов.

При моделировании посты уборочно-моечных работ рассматривались как одно- или многоканальная открытая система массового обслуживания (СМО) с возможностью образования очереди. Параметры СМО определялись следующим образом.

Интенсивность поступлений автомобилей на мойку  $\lambda$ , треб./час, определялась как

$$\lambda = \frac{d}{T}, \quad (2)$$

где  $d$  – суточное число заездов для выполнения уборочно-моечных работ.

Тогда интервал времени  $t$ , час, через который автомобиль поступит на мойку, составит

$$t = \frac{1}{\lambda}. \quad (3)$$

Продолжительность выполнения одного обслуживания  $t$ , час, на посту мойки составит

$$t = \frac{t}{P \cdot \eta}, \quad (4)$$

а интенсивность обслуживания  $\mu$ , треб./час, равна

$$\mu = \frac{1}{t}. \quad (5)$$

Коэффициент загрузки постов определяем

$$\Psi = \frac{\lambda}{\mu \cdot n}, \quad (6)$$

где  $n$  – количество постов мойки.

В работах [3, 4] указывается, что коэффициент загрузки постов  $\Psi$  равен расчетному количеству постов без учета коэффициента неравномерности поступления автомобилей на пост  $\varphi$ . Это подтверждается и в данной работе.

В случае, если коэффициент загрузки будет больше единицы, количество поступающих в единицу времени автомобилей на мойку будет больше, чем могут обслужить посты УМР, и длина очереди будет возрастать. Посты УМР СТОА предлагается моделировать с помощью открытой СМО с ограничениями по длине очереди, т. к. в случае большой длины очереди на мойку автомобили покинут СТОА необслуженными.

Далее с использованием полученных данных об интервалах времени поступления автомобилей на посты мойки и продолжительности обслуживания выполнялось имитационное моделирование постов уборочно-моечных работ СТОА. Для имитационного моделирования процесса функционирования постов УМР использовалась система GPSS World Student Version 5.2.2. Имитационные модели составлялись с учетом рекомендаций работы [5], время моделирования работы постов УМР составляло один год.

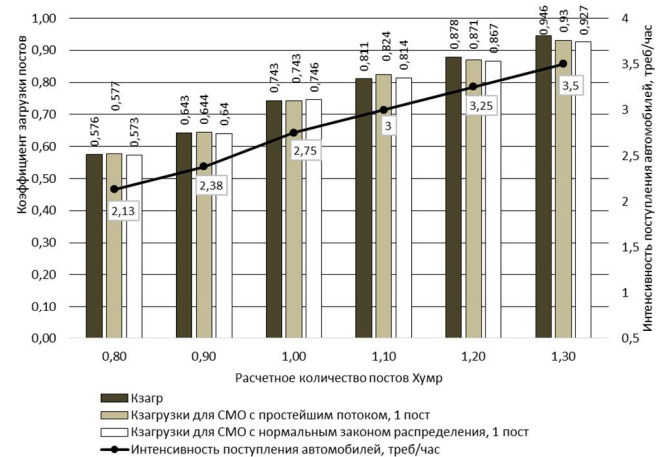
При составлении имитационной модели процесса функционирования посты УМР рассматривались: 1) в виде открытой СМО с простейшими потоками; 2) в виде открытой СМО с входящим потоком требований и потоком обслуживаний, распределенных по нормальному закону с заданными коэффициентами вариации. Моделировалась СМО с одним и двумя каналами обслуживания, которые соответствуют одному или двум постам УМР. При этом предусматривалась возможность образования очереди.

Для моделирования простейшего потока требований интервал времени между соседними событиями должен иметь показательное распределение. Поэтому при имитационном моделировании постов УМР, как открытой СМО с простейшими потоками, интервалы времени поступления автомобилей на УМР задавались по экспоненциальному закону с математическим ожиданием, равным  $t$ , а интервалы времени на обслуживание одного автомобиля – также по экспоненциальному закону с математическим ожиданием, равным  $t$ .

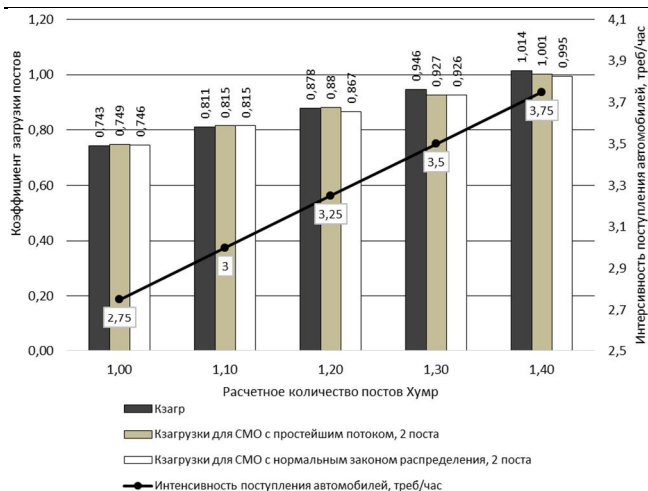
В работе [6] указывается, что нормальному закону распределения подчиняется распределение фактического времени выполнения (фактическая трудоемкость) групп операций профилактических работ (с коэффициентом вариации 0,23), а также периодичность профилактических работ (с коэффициентом вариации 0,20). Поэтому при выполнении имитационного моделирования использовались также модели функционирования постов УМР с входящим потоком требований и потоком обслуживаний, распределенных по нормальному закону с заданными коэффициентами вариации: для входящего потока – 0,20, для потока обслуживания – 0,23. Математическое ожидание для интервалов времени поступления на УМР и выполнения УМР определялось как и для простейшего потока (см. ранее).

**Результаты вычислительного эксперимента и их обсуждение.** С увеличением суточного числа заездов автомобилей на УМР интенсивность поступлений автомобилей на мойку  $\lambda$  и расчетное количество постов уборочно-моечных работ будут линейно возрастать.

Значения коэффициента загрузки постов, полученные по результатам имитационного моделирования функционирования постов УМР, а также рассчитанные по формуле (6), представлены на рисунках 1 и 2.



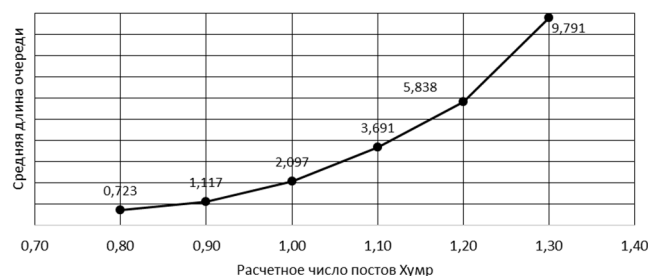
**Рисунок 1** – Зависимость коэффициента загрузки постов от интенсивности поступления автомобилей на мойку и расчетного количества постов для одноканальной СМО



**Рисунок 2** – Зависимость коэффициента загрузки постов от интенсивности поступления автомобилей на мойку и расчетного количества постов для двухканальной СМО

Как видно из рис. 1, при увеличении расчетного количества постов до 1,30 коэффициент загрузки постов не превышает 1, что позволяет рекомендовать использовать один пост УМР.

Однако нужно отметить, что при моделировании зоны УМР с помощью одноканальной открытой СМО с простейшими потоками средняя длина очереди превышает 2 автомобиля при , равном 1, и коэффициенте загрузки 0,743 (см. рис. 3, 2). Это приведет к тому, что часть автомобилей покинут СТОА необслуженными.

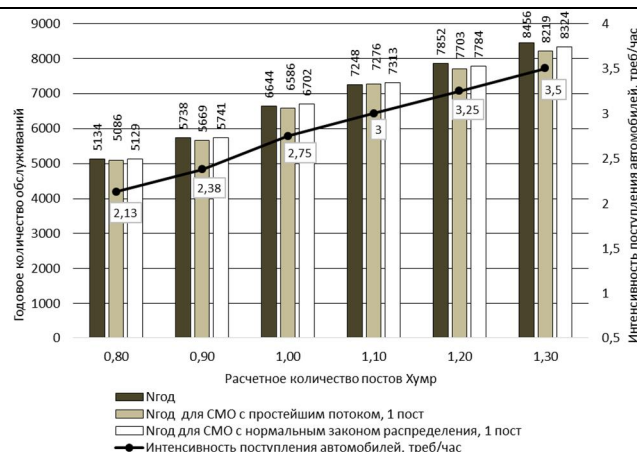


**Рисунок 3** – Зависимость средней длины очереди для одноканальной СМО с простейшим потоком от расчетного количества постов УМР

При моделировании зоны УМР в виде одноканальной открытой СМО с входящим потоком требований и потоком обслуживаний, распределенных по нормальному закону, резкое увеличение средней длины очереди до 6,73 автомобиля наблюдается при расчетном количестве постов , равном 1,40 (для расчетного , равного 1,30, длина очереди составляет 0,417).

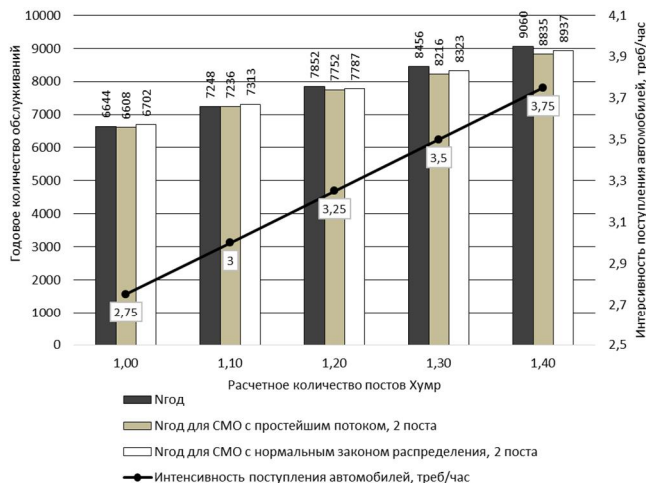
Если использовать два поста УМР при расчете , равном 1,30, то суммарный коэффициент загрузки постов, полученный по результатам имитационного моделирования, будет меньше единицы (см. рис. 2). Однако уже при , равном 1,40 (для СМО с простейшими потоками) или 1,50 (для СМО с нормальным законом распределения потоков), коэффициент загрузки постов будет больше единицы. Средняя длина очереди при этом для двухканальной СМО с простейшими потоками составит 0,075, а для СМО с нормальными законами распределения будет равна нулю. Поэтому при расчете больше 1,30 можно рекомендовать применять два поста УМР.

Зависимость годового количества обслуженных на мойке автомобилей, рассчитанного путем имитационного моделирования различных вариантов СМО и по типовой детерминированной методике, представлена на рис. 4 и 5.



**Рисунок 4** – Зависимость годового количества обслуживаний от интенсивности поступления автомобилей на мойку и расчетного количества постов для одноканальной СМО

Разница в годовом количестве обслуженных автомобилей для СМО с одним или двумя постами с различными законами распределения потоков, которые получены по результатам имитационного моделирования, не превышает 1,7% при расчетном до 1,30 включительно (см. рис. 4 и 5). Однако при анализе этих данных нужно учитывать, что в случае применения одноканальной СМО с простейшими потоками при расчетном количестве постов , равном 0,90, средняя длина очереди составит 1,12 автомобиля со средним временем ожидания в очереди 0,47 часа. Для одноканальной СМО с нормальными законами распределения потоков для , равном 1,4, также наблюдается резкий скачок средней длины очереди. Это приведет к тому, что при такой длине очереди и времени ожидания автомобили покинут мойку необслуженными.



**Рисунок 5** – Зависимость годового количества обслуживаний от интенсивности поступления автомобилей на мойку и расчетного количества постов для двухканальной СМО

Для определения оптимального количества постов в зоне УМР СТОА возможно использовать критерий максимальной годовой прибыли от работы подразделений, которую можно определить следующим образом

$$i = i - i \rightarrow \max, \quad (7)$$

где  $i$  – годовая прибыль для  $i$ -го варианта зоны УМР;

$i$  – годовые доходы для  $i$ -го варианта зоны УМР;

$P_i$  – годовые затраты (расходы) на содержание  $i$ -го варианта зоны УМР.

Годовые доходы для  $i$ -го варианта зоны УМР можно определить

$$N_{i-1} = N_{i-2} \cdot C_{i-1}, \quad (8)$$

где  $N_{i-1}$  – годовое количество обслуживаний для  $i$ -го варианта зоны УМР;

$C_{i-1}$  – средняя цена обслуживания одного автомобиля в зоне УМР.

В работе [3] предлагается расходы в день на содержание подразделения автосервиса определять следующим образом

$$P = T \cdot \psi \cdot P_n \cdot C_{pR} + T \cdot (1 - \psi) \cdot n \cdot P_n \cdot C + \\ + \Delta K \cdot T \cdot \psi \cdot n \cdot P_n \cdot (C_{pR} + \Delta C_{pR}) + \Delta T \cdot (1 - \psi) \cdot n \cdot P_n \cdot C + \\ + \sum_{i=1}^K K_i \cdot C_i \cdot [1 + \psi \cdot (T - \Delta T) \cdot C] + C + DH \cdot C_S, \quad (9)$$

где  $C_p$  – тарифная ставка рабочего  $R$ -го разряда в основное время, руб/час;

$\Delta_p$  – тарифная ставка рабочего  $R$ -го разряда в сверхурочное время, руб/час;

$\Delta T$  – сверхурочное время работы, час;

$DH$  – доля отчислений в виде налогов;

$C$  – удельные амортизационные отчисления за основные фонды, руб/день;

$C_S$  – суточная оплата за электроэнергию, тепло и воду;

$C$  – оплата за электроэнергию при эксплуатации оборудования;

$C_i$  – стоимость оборудования, отнесенная к одному дню при нормированном сроке службы, руб/день;

$K_i$  – количество одноименного оборудования;

$K$  – общее количество оборудования.

Годовые затраты (расходы) на содержание подразделения можно получить, умножив ежедневные затраты на число дней работы подразделения в году.

Прибыль от зоны УМР с один и двумя одинаковыми постами можно определить

$$\begin{aligned} P_1 &= P_1 - P_1, \\ P_2 &= P_2 - P_2 = P_2 - 2P_1. \end{aligned} \quad (10)$$

Увеличение прибыли при переходе от одного к двум постам УМР с учетом формулы (10) составит

$$\Delta = P_2 - P_1 = C \cdot (N_{i-2} - N_{i-1}) - P_1 \quad (11)$$

**Заключение.** Проведенный анализ позволяет рекомендовать

при интенсивности поступления автомобилей на мойку, для которой расчетное количество постов УМР равно 1,30, использовать зону УМР с двумя постами.

Для получения более достоверной информации о средней длине очереди и среднем времени нахождения автомобилей в очереди, количестве обслуживаний за год, а также при задании ограничения на длину очереди при имитационном моделировании необходим сбор статистических данных для определения законов распределения входящего потока требований и потока обслуживаний для конкретного подразделения автосервиса.

При реконструкции организаций автосервиса сбор информации о функционировании подразделений выполняется в реконструируемой организации. В случае проектирования новых организаций автосервиса информация о функционировании подразделений принимается по данным аналогичных подразделений действующих организаций автосервиса.

При принятии решения об увеличении количества постов УМР нужно оценить возможность увеличения прибыли. Для этого необходимо спрогнозировать, как изменится количество обслуживаний в год при увеличении количества постов.

Разработанные имитационные модели используются студентами специальности 1 – 37 01 07 Автосервис для оптимизации структуры зоны УМР СТОА при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» и дипломного проектирования.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проектирование предприятий автомобильного транспорта : учебник / М. М. Болбас, Н. М. Капустин, А. С. Савич [и др.]; под ред. М. М. Болбаса – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2004. – 528 с.
2. Марков, О. Д. Станции технического обслуживания автомобилей. – К. : Кондор, 2008. – 536 с.
3. Тахтамышев, Х. М. Оптимизация мощности автосервисных предприятий при различных формах организации труда / Х. М. Тахтамышев // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 19 (146) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – С. 70–73.
4. Монтик, С. В. Моделирование структуры производственных подразделений по техническому обслуживанию транспортных средств / С. В. Монтик, Ю. А. Головченко, Н. С. Монтик // Вестник БрГТУ. – 2017. – № 4 (106) : Машиностроение. – С. 66–69.
5. Кудрявцев, Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 320 с.: ил.
6. Научные исследования и решение инженерных задач : учебн. пособие / С. С. Кучур, М. М. Болбас, В. К. Ярошевич. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2003.

26.10.2019

#### **MONTIK S. V., SANYUKEVICH F.M., GOLOVACH A. P. Optimization of structure of car service with use of simulation modeling**

Simulation modeling of processes of functioning of a zone of commercial washing of car service for the purpose of optimization of number of the washing equipment by criterion of the maximum profit is executed. When modeling in the GPSS World system the zone of washing was considered as open one- and multichannel queuing system with the simplest streams or streams distributed under the normal law. On the basis of a computing experiment recommendations about determination of optimum number of the washing equipment are made.

621.833

• •

**Введение.** В машиностроении широко используются червячные передачи из-за их компактности, низкой металлоемкости, значительного диапазона передаточных чисел, высокой кинематической точности, бесшумности, компоновочных и монтажных многообразий [1].

Эти качества проявляются в полной мере лишь при соблюдении достаточной точности зацепления, определяемой не только высоким качеством деталей червячной передачи, но и величинами погрешностей их взаимного расположения, которые регламентированы более

*Рогачевский Николай Иванович, к. т. н., доцент кафедры «Основы проектирования машин» Белорусско-Российского университета. Беларусь, БРУ, 212030, г. Могилев, пр. Мира, 43.*