УДК 519.6

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРКА ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

В. Н. Перегудова, О. Ю. Киреев, Е. А. Корсунова
Филиал Воронежского государственного
технического университета в г. Борисоглебск
Email: s.i.sushkov@mail.ru

Современные промышленные предприятия должны функционировать так, чтобы обеспечивался бесперебойный производственный процесс, который заключается в своевременном и качественном предоставлении услуг заказчику. Большинство существующих парков транспортных машин имеют устаревшую модель построения, малоэффективную в существующих условиях рыночных отношений.

Обеспечение нормального функционирования и развития данных средств, как сложных технических комплексов, требует специальных методов повышения эффективности их функционирования, основанных на комплексной (системной) оптимизации социально-технических и экономических характеристик. Поэтому неудивителен всеобщий интерес к современным методам усовершенствования организационных структур парков специализированной техники, базирующихся на новейших информационных технологиях [8].

Анализ литературных источников [1-3], позволил выявить основные бизнес-процессы парка транспортных средств. Анализ влияния отдельных выделенных бизнес-процессов, показал, что ключевыми задачами перехода на технологии оптимизации бизнес-процессов являются: оптимизация модельного ряда транспортных средств парка; оптимизация организационных структур.

Отсюда вытекает предположение о необходимости построения концептуальной модели парка транспортных средств как специализированной системы, которая послужит инструментом для идентификации основополагающих бизнес-процессов – оптимизации парка и организационных структур.

Объект исследования – парк транспортных средств, как сложная специализированная техническая система (СТС). Моделирование функционирования СТС и бизнес-процессов в системе ведем на основе системного подхода, т. е. в виде совокупного множества взаимосвязанных и взаимодействующих подсистем с формализацией цепочек прямых и обратных связей. Таким образом, парк данных средств как систему представим как совокупность взаимосвязанных и

взаимодействующих подсистем:

$$\text{СТС} = \left\{ \text{ПС}_{\text{р}} \middle| \text{И} \right\}, \tag{1}$$

где ПС – компоненты подсистемы; *p* – идентификационный номер подсистемы (p = {X, Y, Z}); *И* – идентификация условий функционирования.

Элементами или подсистемами назовем части СТС в виде выделяемых групп элементов, так что $\text{ПС}_{\text{р}} \in \text{СТС}$. Число подсистем в общем случае зависит от степени детализации структурной модели СТС. Если использовать большое число подсистем (p>3) на уровне числа структурных подразделений парка, то это затруднит формализацию связей между ними и приведет к разрыву связей выделяемых (исследуемых) параметров СТС с другими независимыми параметрами.

Принимаем *p* = 3: подсистема транспортных средств ЛТС (*X*); подсистема транспортных работ ЛР (Y); подсистема обслуживающего комплекса ОК (*Z*).

Здесь: *X*, *Y*, *Z* – главные характеризующие параметры подсистем.

Обобщенная структурная модель (без учета специализации системы) приведена на рисунке 1.

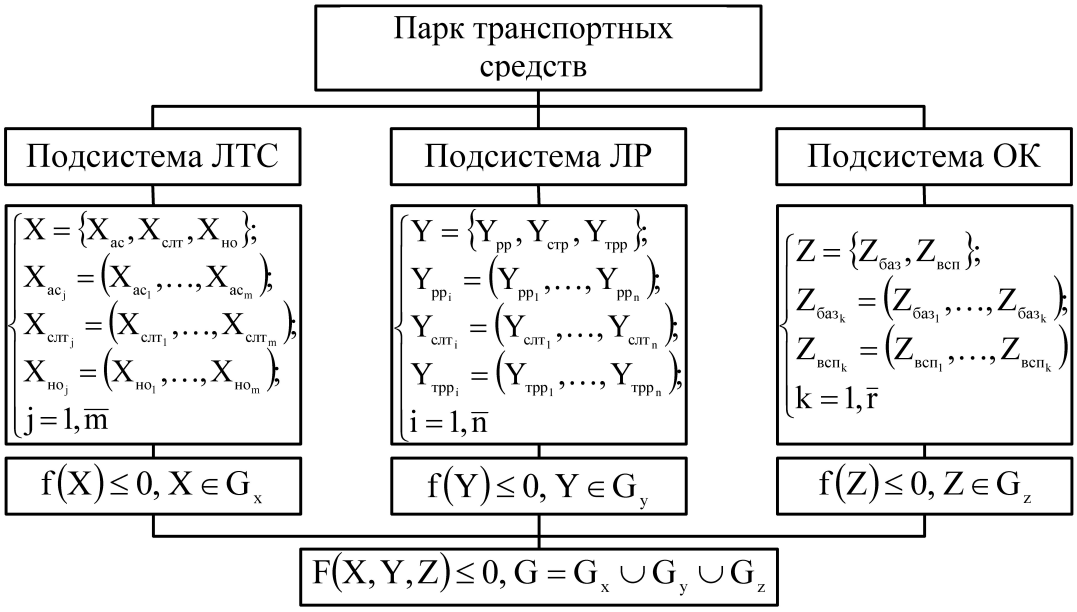

Рисунок 1 – Обобщенная структурная модель парка транспортных средств

Подсистема ЛТС включает в себя в свою очередь подсистемы более низкого уровня – парки ЛТС: автотранспортные средства (ас), специализированная техника (слт), навесное оборудование (но). В целом подсистема ЛТС зависит от m варьиру-

емых параметров, которые можно считать точкой $X_j = (X_1, \ldots, X_m)$ в m-мерном пространстве параметров подсистемы ЛТС ($j = 1, \overline{m}$). С учетом идентификации по типу ЛТС в структурной модели правомерна следующая запись, отображающая одновременно и структуру и размерность парка (подсистемы ЛТС):

$$\begin{cases} X = \{X_{ас}, X_{слт}, X_{но}\}; \\ X_{ас_j} = (X_{ас_1}, \ldots, X_{ас_m}); \\ X_{слт_j} = (X_{слт_1}, \ldots, X_{слт_m}); \\ X_{но_j} = (X_{но_1}, \ldots, X_{но_m}); \\ j = 1, \overline{m} \end{cases} \quad (2)$$

Подсистема ЛР включает в себя в свою очередь подсистемы более низкого уровня – комплексы работ: ручные работы с помощью навесного оборудования (рр), работы с помощью специализированной техники (стр), транспортные работы (трр). В целом подсистема ЛР зависит от n варьируемых параметров, которые можно считать точкой $Y_i = (Y_1, \ldots, Y_n)$ в n-мерном пространстве параметров подсистемы ЛР ($i = 1, \overline{n}$). С учетом идентификации по вариантам ЛР в структурной модели правомерна следующая запись, отображающая структуру и объем разных видов работ (подсистемы ЛР):

$$\begin{cases} Y = \{Y_{рр}, Y_{стр}, Y_{трр}\}; \\ Y_{рр_i} = (Y_{рр_1}, \ldots, Y_{рр_n}); \\ Y_{слт_i} = (Y_{слт_1}, \ldots, Y_{слт_n}); \\ Y_{трр_i} = (Y_{трр_1}, \ldots, Y_{трр_n}); \\ i = 1, \overline{n} \end{cases} \quad (3)$$

Подсистема ОК включает в себя базовый комплекс (баз) и вспомогательные (всп), а также функциональные элементы и зависит от k варьируемых параметров, которые можно считать точкой $Z_k = (Z_1, \ldots, Z_k)$ в k-мерном пространстве параметров подсистемы ОК ($k = 1, \overline{r}$). Правомерна следующая запись, отображающая структуру подсистемы ОК:

$$\begin{cases} Z = \{Z_{баз}, Z_{всп}\}; \\ Z_{баз_k} = (Z_{баз_1}, \ldots, Z_{баз_k}); \\ Z_{всп_k} = (Z_{всп_1}, \ldots, Z_{всп_k}) \\ k = 1, \overline{r} \end{cases} \quad (4)$$

Уравнения существования $f(X) \leq 0, f(Y) \leq 0, f(Z) \leq 0$ записываются и формализуются для каждой подсистемы. Для подсистемы ЛТС уравнениями существования будут являться уравнения оценки подвижности и надежности каждого типа и типоразмера ЛТС. Для подсистемы ЛР – взаимозависимости главных характеризующих параметров ЛР (объем, дальность перевозки, интенсивность) и параметров, отражающих специфичность варианторазмеров ЛР. Для подсистемы ОК уравнениями существования будут являться взаимозависимости между параметрами ОК согласно концепции технического обслуживания и ремонта (ТО и Р).

СТС в целом будет зависеть от $n^3 \cdot m^4 \cdot r^2$ параметров (рис. 1). Ограничения G_x, G_y, G_z в рассматриваемых функциональных подсистемах выделяют в $n^3 \cdot m^4 \cdot r^2$ – мерном пространстве параметров системы подмножество допустимых параметров $G = G_x \cup G_y \cup G_z$, $X \in G_x$, $Y \in G_y$, $Z \in G_z$.

В определении системы (1) входит и идентификация условий.

Условия *И* характеризуют функционирование подсистем следующим образом: характеристики ограничений и форма упорядоченности в подсистемах G_x, G_y, G_z; характеристики и факторы влияния внешней среды в виде набора признаков воздействия однозначно и неоднозначно отображенные во времени $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ и x_s, y_s, z_s (по общей теории управления – возмущения); зависимость исследуемых процессов от времени $t \in [0, T]$, где T – длительность периода эксплуатации системы.

Тогда выражение (1) запишется в следующем виде:

$$\text{СТС} = \{X, Y, Z | x(t), y(t), z(t), x_s, y_s, z_s, G_x, G_y, G_z, t\}. \quad (5)$$

Учитывая определенную автономность вышеприведенных подсистем, наличие уравнений существования и собственных ограничений, рассмотрим отдельно структурные модели каждой подсистемы.

Структура и размерность парка ЛТС – это оптимальное количество и соотношение типов и типоразмеров ЛТС по функциональности. Введем в модель идентификацию по типу ЛТС: автотранспортные средства (АС), специализированная техника (СЛТ), навесное оборудование (НО).

Идентификация по типоразмерам (или классам) ЛТС заключается в выборе типоразмеров (классов) по функциональности (коммерческой нагрузке) внутри определенного типа ЛТС. Идентификация по типоразмерам невозможна без идентификации по вариантам ЛР и варианторазмерам ЛР [5].

Например, для каждого варианта ЛР (ручные работы с помощью навесно-

го оборудования {РР}, работы с помощью специализированной техники {СТР}, транспортные работы {ТРР}) по нашей концепции соответствует свой тип, а для каждого варианторазмера – свой типоразмер ЛТС. Идентификация по варианторазмерам построена на дальнейшем разделении вариантов ЛР по видам с главными характеризующими их параметрами.

Идентификация парка ЛТС (подсистемы ЛТС) заключается в распознавании признаков возможных сочетаний типоразмера ЛТС и варианторазмера ЛР.

Модель структуры и размерности парка в виде матрицы размещается в четырехмерном пространстве, (четырехмерная матрица), что затрудняет визуальное и графическое отображение в целом. Для наглядности показаны фрагменты идентификации на производных двумерных матрицах возможных сочетаний «Тип ЛТС» ~ «вариант ЛР» приведены в таблице 1; «типоразмер ЛТС ~ варианторазмер ЛР» для {СТР} ~ {СЛТ} приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Двумерная матрица сочетаний «Тип ЛТС» ~ «вариант ЛР»

Тип ЛТС / Вариант ЛР	{АС}	{СЛТ}	{НО}
{РР}	0	0	1
{СТР}	0	1	1
{ТРР}	1	1	0
1 – реальное множество сочетаний; 0 – нереальное множество сочетаний			

Таблица 2. Двумерная матрица сочетаний «типоразмер ЛТС ~ варианторазмер ЛР» для {СТР} ~ {СЛТ}

Типоразмер ЛТС {СЛТ} / Варианторазмер ЛР (расчистка участка)	Трактор	Лесовоз	Установка RC 20 XP	Интервал интенсивности, в год
Распилка деревьев	0	0	1	2,5-3
Измельчение сучьев	0	0	1	1-3
Трелёвка леса	1	1	0	1,5-2,5
Вывоз леса	1	1	0	1,5-2,5
1 – реальное множество сочетаний; 0 – нереальное множество сочетаний				

Основным элементами подсистемы ЛТС является специализированная лесотехническая техника (СЛТ), совокупность которой составляет парк техники [8]. Состав парка СЛТ в t-м году можно записать в виде уравнения:

$$N_{\Sigma}(t) = N_{\Sigma}(\mathrm{t} - 1) + ПБ_{\Sigma}(t) - СП_{\Sigma}(t), \qquad (6)$$

где $N_{\Sigma}(t-1)$ – состав парка ЛТС в предыдущем, (t-1)-м году; $ПБ_{\Sigma}(t)$ – приобретенные ЛТС в *t*-м году; $СП_{\Sigma}(t)$ – списанные ЛТС в *t*-м году.

Идентификация размерности парка выражается слагаемыми состава парка ЛТС в *t*-м году:

$$N_{\Sigma}(t)=\sum_{j=1}^{m} N_{AC_j}(t)+\sum_{j=1}^{m} N_{СЛТ_j}(t)+\sum_{j=1}^{m} N_{НО_j}(t), \quad (7)$$

где $\sum_{j=1}^{m} N_{AC_j}(t)$ – состав парка автотранспортных средств в *t*-м году; $\sum_{j=1}^{m} N_{СЛТ_j}(t)$ – состав парка специализированной техники в *t*-м году; $\sum_{j=1}^{m} N_{НО_j}(t)$ – состав парка навесного оборудования в *t*-м году; $x_{AC_j}(j=1,\overline{m})$; $AC_j=\overline{1,AC_m}$ – параметрический ряд автотранспортных средств в парке машин;
$x_{СЛТ_j}(j=1,\overline{m})$; $СЛТ_j=\overline{1,СЛТ_m}$ – параметрический ряд специализированной техники в парке; $x_{НО_j}(j=1,\overline{m})$; $НО_j=\overline{1,НО_m}$ – параметрический ряд навесного оборудования в парке машин.

Слагаемое $ПБ_{\Sigma}(t)$ определяет программу закупок ЛТС парка в *t*-м году.

$$ПБ_{\Sigma}(t)=\sum_{j=1}^{m} ПБ_{AC_j}(t)+\sum_{j=1}^{m} ПБ_{СЛТ_j}(t)+\sum_{j=1}^{m} ПБ_{НО_j}(t), \quad (8)$$

где $\sum_{j=1}^{m} ПБ_{AC_j}(t)$ – программа закупок автотранспортных средств из параметрического ряда $AC_j=\overline{1,AC_m}$ в *t*-м году; $\sum_{j=1}^{m} ПБ_{СЛТ_j}(t)$ – программа закупок специализированной техники из параметрического ряда $СЛТ_j=\overline{1,СЛТ_m}$ в *t*-м году;
$\sum_{j=1}^{m} ПБ_{НО_j}(t)$ – программа закупок навесного оборудования из параметрического ряда $НО_j=\overline{1,НО_m}$ в *t*-м году.

Моделирование структуры парка ЛТС имеет свою специфику для автотранспортных средств, специализированной техники и навесного оборудования для различных видов работ. Поэтому необходим специальный подход к построению универсальной методики структуризации парка ЛТС, учитывающей суммарный объем лесотехнических работ (*Q*) без конкретизации составляющих операций, но попадающих в двумерные матрицы сочетаний «типоразмер ЛТС ~

варианторазмер ЛР», приведенных в таблицах 1 и 2.

Модель размерности парка ЛТС состоит из последовательности выражений (6) – (8), в которых $\sum_{j=1}^{m} N_{АС_j}(t)$, $\sum_{j=1}^{m} N_{СЛТ_j}(t)$, $\sum_{j=1}^{m} N_{НО_j}(t)$ определяются в областях предпочтительного применения G_y. Области предпочтительного применения (ОПП) – это области, в которых можно выделить в пространстве всех возможных параметров работ совокупность тех работ, которые эффективно могут быть выполнены определенным типом ЛТС с учетом эксплуатационной надежности.
В ОПП для каждого типа ЛТС:

$$\begin{cases} d_i\left(x_{ас_j}\right) \\ d_i\left(x_{слт_j}\right), \\ d_i\left(x_{но_j}\right) \end{cases} \tag{10}$$

существует соответствующий параметрический ряд типоразмеров ЛТС:

$$\begin{cases} ас_j = 1, \overline{ас_j} \\ слт_j = 1, \overline{слт_j} \\ но_j = 1, \overline{но_j} \end{cases}. \tag{11}$$

В работах [1,4] было показано, что: в ОПП $d_i\left(x_{ас_j}\right)$ выражение $ас_j = 1, \overline{ас}_m$ – параметрический ряд автотранспортных средств, подготовленных к закупке в t-м году; в ОПП $d_i\left(x_{слт_j}\right)$ выражение $слт_j = 1, \overline{слт}_n$ – параметрический ряд специализированной техники, подготовленной к закупке в *t*-м году; в ОПП $d_i\left(x_{но_j}\right)$ выражение $но_j = 1, \overline{но}_n$ – параметрический ряд навесного оборудования, подготовленного к закупке в *t*-м году.

Каждое значение выражения (10) является областью достижимых заданий в совокупности (системно они выделяются в G_y).

Под размерностью парка понимается абсолютная совокупность разных типов и типоразмеров ЛТС в парке.

Под структурой парка ЛТС будем понимать относительную совокупность в парке типов и типоразмеров ЛТС: автотранспортных средств, специализированной техники, навесного оборудования, т. е. (виды модификаций и размеры

внутри определенного типа).

В областях предпочтительного применения размерность потребного парка каждого типа ЛТС определяется из выражений:

– для автотранспортных средств:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{m} N_{ac_{ij}}(t) = \dfrac{Q_i\{d_i(x_{ac_j})\}}{\Pi_i\{d_i(x_{ac_j})\}T_i}; \\ \sum_{j=1}^{m} N_{ac_j}(t) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} N_{ac_{ij}}(t); \end{cases} \quad (12)$$

– для специализированной техники:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{m} N_{слт_{ij}}(t) = \dfrac{Q_i\{d_i(x_{слт_j})\}}{\Pi_i\{d_i(x_{слт_j})\}T_i}; \\ \sum_{j=1}^{m} N_{слт_j}(t) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} N_{слт_{ij}}(t); \end{cases} \quad (13)$$

– для навесного оборудования:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{m} N_{но_{ij}}(t) = \dfrac{Q_i\{d_i(x_{но_j})\}}{\Pi_i\{d_i(x_{но_j})\}T_i}; \\ \sum_{j=1}^{m} N_{но_j}(t) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} N_{но_{ij}}(t); \end{cases} \quad (1\ 4)$$

Тогда, с учетом сложившегося модельного ряда техники, характеризуемым показателем $N_{\Sigma}(t-1)$ и определяемым по выражениям (12) – (14), а также с учетом потребной размерности парка по областям предпочтительного применения (ОПП) для разных типов ЛТС $N_{\Sigma}(t)$, корректируем размерность парка планом закупок ($ПБ_{\Sigma}$) и планом списаний ЛТС ($СП_{\Sigma}$) в расчетном (t-м), году. Таким образом, определяется структура парка ЛТС для конкретного парка транспортной техники [2].

Эффективность функционирования парка транспортной техники как системы возрастает при применении ЛТС не на всей его области достижимых заданий, а на более узкой области, задающей оптимальное сочетание его универсальности и специализации (выполняются экономические закономерности: снижение затрат при аналогичном объеме работ повышает эффективность всей системы). Такие области назовем зонами рационального применения

$$D(x,y)_y = \{x_{opt} / K_{эф} \to \max, N_{потр} \to \min, t \in [1,T]\}. \quad (15)$$

Очевидно, что $D(x, y)_{ac} \cap D(x, y)_{слт} \cap D(x, y)_{но} = \varnothing$ – не пересекаются, решаются как задачи оптимального распределения и ограничены возможностями типов ЛТС.

Многообразие возможностей каждого типоразмера ЛТС в одной выделенной операции (*i*-ый вид лесотехнических работ) выражает свойство универсальности и характеризуется областью достижимых заданий $d_i(x_{ac_j})$, $d_i(x_{слт_j})$ или $d_i(x_{но_j})$. Эта область выделяет в пространстве параметров заданий y совокупность тех работ, каждая из которых может быть выполнена эффективно только определенным типом и типоразмером ЛТС с учетом эксплуатационной надежности.

В этом случае возможность выполнения некоторого задания y некоторым видом техники (x_{ac_j}, $x_{слт_j}$ или $x_{но_j}$) определяется условием:

$$y_{ac} \in d_i(x_{ac_j}),\ y_{слт} \in d_i(x_{слт_j}),\ y_{но} \in d_i(x_{но_j}). \tag{16}$$

Это условие выделяет на множестве X допустимые множества вектор-параметров x_{ac_j}, $x_{слт_j}$ и $x_{но_j}$, выполняющих конкретный вид работ y_i:

$$x_y = \{x \in X : y \in d_i(x)\}. \tag{17}$$

Параметры СТС – множества, которые выделяются из $x \in G_x$, $y \in G_y$ $z \in G_z$ в результате получения областей предпочтительного применения и зон рационального применения. [7]

В этом случае соотношение количества типов ЛТС представляется в виде упорядоченной тройки $x_j = \{x_{ac}, x_{слт}, x_{но}\}$:

$$x_{ac} = \bigcup_{j=1}^{m} x_{ac_j},\ x_{слт} = \bigcup_{j=1}^{m} x_{слт_j},\ x_{но} = \bigcup_{j=1}^{m} x_{но_j} \tag{18}$$

Множество параметров *X*, определяемое как путем аналитического расчета и из банка данных ЛТС, включает всю возможную совокупность видов ЛТС рассматриваемых классов, реализуемых на данном техническом уровне. Это дает возможность путем изменения исследуемых параметров получить не только оптимальную совокупность и соотношение различных видов ЛТС в парке, но и определить, при каких совокупных параметрах ЛТС реализуется оптимальная с экономической и организационной точки зрения СТС. Использование модели для

этой цели позволяет получить оптимальный конечный результат по отношению структуры парка СТС[4].

Доля СЛТ в парке машин *j*-го типоразмера определяется величиной $N_{СЛТijk\sigma}(t)$ – количество техники *j*-го типоразмера, необходимых (потребных) для выполнения i-го варианторазмера в виде выборки из вариантов: {ручные работы с помощью навесного оборудования, работы с помощью специализированной техники, транспортные работы} при k-м виде базирования в σ-классе парка в t-м году рассматриваемого периода {0, T}.

Размерность парка специализированной техники всех типоразмеров определяется величиной:

$$N_{СЛТik\sigma}(t) = \sum_{j=1}^{m} N_{СЛТijk\sigma}(t), \tag{20}$$

где $N_{СЛТik\sigma}(t)$ – количество специализированной техники, необходимой для выполнения i-го варианторазмера из выборки вариантов {РР, СТР, ТРР} при *k*-м виде базирования в σ-классе парков техники в t-м году периода {0, T}.

Размерность парка транспортных средств всех варианторазмеров работы с помощью специализированной техники:

$$N_{СЛТk\sigma}(t) = \sum_{y_2} \sum_{i=1}^{n} N_{СЛТik\sigma}(t), \tag{21}$$

где $N_{СЛТk\sigma}(t)$ – количество специализированной техники для выполнения работ при k-ом виде базирования в σ-классе лесотехнических парков в t-м году периода {0, T}.

Аналогично выражение (21) запишется для:

– ручные работы всех видов с помощью навесного оборудования

$$N_{СЛТk\sigma}(t) = \sum_{y_1} \sum_{i=1}^{n} N_{СЛТik\sigma}(t), \tag{22}$$

– транспортные работы всех видов

$$N_{СЛТk\sigma}(t) = \sum_{y_3} \sum_{i=1}^{n} N_{СЛТik\sigma}(t). \tag{23}$$

Размерность парка специализированных машин при всех видах базирования и всех классов в t-м году периода {*0*, *T*} определяется выражением

$$N_{СЛТ}(t) = \sum_{\sigma=1}^{S}\sum_{k=1}^{K}\sum_{y}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} N_{СЛТijk\sigma}(t). \quad (24)$$

Аналогичные выражения получаются и для автотранспортных средств – $N_{АС}(t)$, навесного оборудования – $N_{НО}(t)$.

Вывод: Таким образом, в данной работе для описания и анализа бизнес-процессов транспортного парка разработаны математические модели процессов функционирования парка машин, выявлены основные бизнес-процессы, оптимизация которых – суть совершенствования системы управления парком. Предложена концепция, по которой суммарный потребный парк определяется в областях предпочтительного применения.

Библиографический список

1 Сушков, С. И. Совершенствование методики автоматизированной системы управления жизненным циклом машин лесного комплекса [Текст] / С. И. Сушков, О. Н. Бурмистрова, В. А. Бурмистров, М. А. Михеевская // Efektivni nastroje modernich ved – 2014 : materialy 10 mezinarodni vedecko-prakticka konference, 27 dubna-05 kventa 2014 roku. – Praha : Education and Science s.r.o, 2014. – Dil 32 : Technike vedy. – S. 10-14.

2 Сушков, С. И. Обоснование целесообразности управления техническим состоянием машин [Текст] / С. И. Сушков, В. А. Иванников, А. В. Чупахин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3 (38). – С. 75-78.

3 Макеев, В. Н. Влияние продолжительности простоя на производительность подвижного состава [Текст] / В. Н. Макеев, С. И. Сушков, М. С. Солопанов, И. Е. Шевцова, А. С. Сушков // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 1 (9). – С. 92-97.

4 Сушков, С. И. Методика решения уравнений движения лесовозных автопоездов при различных режимах работы двигателя [Электронный ресурс] / С. И. Сушков, В. Н. Бухтояров // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1 (57). – Режим доступа: http://www.science-education.ru/121-18498.

5 Сушков, С. И. Приемлемые методы определения экологического состояния дорог при их эксплуатации лесовозным и автомобильным транспортом [Электронный ресурс] / С. И. Сушков, И. В. Четверикова // Современные про-

блемы науки и образования. – 2015. – № 1 (57). – Режим доступа: www.science-education.ru/121-19252.

6 Афоничев, Д. Н. Оптимизация размещения внутриплощадочных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий [Текст] / Д. Н. Афоничев // Природопользование: ресурсы, техническое обеспечение : Межвуз. сб. научн. тр. / Воронежская государственная лесотехническая академия. – Воронеж, 2007. – Вып. 3. – С. 36-42.

7 Сушков, С. И. Методы оценки прочности дорожных конструкций [Текст] / С. И. Сушков, В. Н. Бухтояров // Строительные и дорожные машины. – 2017. – № 2. – С. 53-56.

8 Сушков, С. И. Методы оценки транспортно-эксплуатационного состояния дорог для транспортировки лесоматериалов [Текст] / С. И. Сушков, О. Н. Бурмистрова, В. Н. Бухтояров // Строительные и дорожные машины. – 2017. – № 6. – С. 30-32.