



ВЕСТНИК машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

7
2015

ИЗДАЕТСЯ С НОЯБРЯ 1921 ГОДА

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Журнал переводится на английский язык, переиздается и распространяется во всем мире фирмой "Аплертон Пресс" (США)



ООО «Издательство
"Инновационное машиностроение"»

Адрес издательства:

107076, Москва, Колодезный пер., д. 2А,
стр. 2.

Телефон: 8-(495)-661-03-36

Адрес редакции:

**107076, Москва,
Колодезный пер., д. 2А.
Телефон: 8-(495)-661-38-80.
E-mail: vestmash@mashin.ru
www.mashin.ru**

Журнал зарегистрирован 19 апреля 2002 г. за № 77-12421 в Комитете Российской Федерации по печати

Учредитель: А.И. Савкин

Индексы: **70120** ("Роспечать"),
27841 ("Пресса России"),
60264 ("Почта России")

Цена свободная

Отпечатано в ООО "Канцлер",
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.
Сайт: www.aov.ru

Главный редактор А.И. САВКИН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Алешин Н.П., д-р техн. наук, акад. РАН, **Братухин А.Г.**, д-р техн. наук, **Воронцов А.Л.**, д-р техн. наук, **Гусейнов А.Г.**, д-р техн. наук, **Дмитриев А.М.**, д-р техн. наук, член-корр. РАН (председатель секции обработки материалов без снятия стружки), **Драгунов Ю.Г.**, д-р техн. наук, член-корр. РАН, **Древаль А.Е.**, д-р техн. наук (председатель секции технологии машиностроения), **Кутин А.А.**, д-р техн. наук, **Омельченко И.Н.**, д-р техн. и экон. наук (председатель секции организации и экономики производства), **Кузин В.В.**, д-р техн. наук, **Попов Д.Н.**, д-р техн. наук, **Попов А.В.**, д-р техн. наук, **Рыбин В.В.**, д-р техн. наук, член-корр. РАН, **Трегубов Г.П.**, д-р техн. наук, **Скугаревская Н.В.** (ответственный секретарь)

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН	
Болнокин В. Е., Ивашов Е. Н., Костомаров П. С., Яговцев В. О. — Стратегия технического обслуживания систем управления	3
Кожевников В. Ф. — Распределение усилий по рядам односрезных поперечных болтовых стыков	6
Подвойский А. О., Крылов П. В., Шарохин В. Ю., Решетников А. Д. — Концепция расчета на прочность магистральных трубопроводов из обетонированных труб для подводных переходов	11
Иванов А. С., Смирнов Н. И., Муркин С. В., Ермолаев М. М. — Сопротивление усталости винтов резьбовых соединений погружных центробежных насосов при их нагружении круговым опрокидывающим моментом	17
Александров И. К. — Правило десяти моментов холостого хода механической передачи	22
Седакова Е. Б., Козырев Ю. П. — Физическая модель износа полимерных композитов с пространственным расположением наполнителя в виде коротких волокон	27
Мамити Г. И., Плиев С. Х., Тедеев В. Б. — Расчет устойчивости трицикла с наклоняющимся кузовом	30
Чукарин А. Н., Сычев А. П., Подуст С. Ф. — Исследования эффективных коэффициентов потерь энергии колебаний в стержневых конструкциях	35
Тамаркин М. А., Тищенко Э. Э., Вяликов И. Л. — Теоретические основы повышения эффективности виброабразивной обработки при наложении ультразвукового поля	38
Аверьянов Г. С., Бельков В. Н., Бурьян Ю. А., Корчагин А. Б., Балашов В. С. — Решение задачи вибрационной защиты насосных станций систем водоснабжения	42
Сутягин О. В., Мешков В. В., Мединцев С. В. — Влияние твердосмазочных покрытий и шероховатости контактирующих поверхностей на распределение нагрузки по виткам резьбовых сопряжений и винтовых передач	46
Зюзин А. А., Константинова И. С., Казьмин Б. Н., Юров М. Д. — Проблема стандартизации наклонного типа направления микронеровностей шероховатости поверхностей	51
Янко В. М. — Смазывание рабочих поверхностей деталей оборудования для переработки полимерных материалов	54
Блинов Д. С., Шатилов А. А. — Автоматизированная система "Точные широкодиапазонные оправки с разрезной цангой"	57
<i>Проблемы трибологии — трения, изнашивания и смазки</i>	
Гордеев Б. А., Охулков С. Н., Плехов А. С., Титов Д. Ю., Горсков В. П. — Течение и релаксация магнеторхеологической жидкости в дроссельных каналах гидроопор	59
Винокуров Г. Г., Стручков Н. Ф., Попов О. Н. — Построение опорных кривых профиля поверхностей трения износостойких порошковых покрытий	64
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Смыслов А. М., Быбин А. А., Даутов С. С. — Исследование высокотемпературной газовой коррозии интерметаллидного сплава TiNi-B1	68
Агеева Е. В., Агеев Е. В., Воробьев Е. А. — Анализ формы и морфологии частиц порошка, полученного из вольфрамсодержащих отходов электроэрозионным диспергированием в керосине	72
Гафаров А. М., Сулейманов П. Г., Калбиев Ф. М., Гафаров В. А. — Исследование влияния режимов обработки на свойства поверхностных слоев деталей после раскатывания	74
Пустовалов Д. А., Мокрицкий Б. Я., Коннова Г. В. — Выбор рациональных инструментальных материалов с использованием метода скрайбирования	77
<i>Проблемы теории и практики резания материалов</i>	
Бекренев Н. В., Мулдашева Г. К., Петровский А. П., Цветкова О. А. — Аналитическое определение сил резания при ультразвуковой обработке высокопрочных материалов с учетом термического эффекта	81
<i>Обработка материалов без снятия стружки</i>	
Малафеев С. И., Коняшин В. И., Малафеева А. А. — Определение силы трения при прокатке металла	83
ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
Трояновская И. П. — Влияние угла наклона свободной ветви на предварительное натяжение гусеницы	86
Лобанов Д. В., Ефремов И. М., Кузьмичев В. А., Лиханов А. А., Лобанова А. Н., Дивин Д. В. — Роторно-вибрационный смеситель со двоянным подпружиненным двухчастотным сферическим вибратором	87

CONTENTS

DESIGN, CALCULATION, TESTS AND RELIABILITY OF MACHINES	
Bolnokin V. E., Ivashov E. N., Kostomarov P. S., Yagovtsev V. O. — Policy of maintenance support of control systems	3
Kozhevnikov V. F. — Load distribution along the rows of single-shear transverse bolted joints	6
Podvoyskiy A. O., Krylov P. V., Sharokhin V. Yu., Reshetnikov A. D. — Principles of strength analysis of trunk pipelines from concrete weight coated pipes for water barriers	11
Ivanov A. S., Smirnov N. I., Murkin S. V., Ermolaev M. M. — Fatigue resistance of screws of threaded joints of sinking centrifugal pumps at loading by circular tilting moment	17
Aleksandrov I. K. — Rule of ten moments of idle run of mechanical transmission	22
Sedakova E. B., Kozыrev Yu. P. — Physical model of wear of polymer composites with three-dimensional orientation of short-fiber type filler	27
Mamiti G. I., Pliyev S. Kh., Tedeev V. B. — Analysis of stability of tricycle with bending car body	30
Chukarin A. N., Sychev A. P., Podust S. F. — Research of effective loss coefficients of vibrational energy in frame structures	35
Tamarkin M. A., Tischenko E. E., Vyalikov I. L. — Theoretical foundations of effectiveness improvement of vibroabrasive machining at ultrasound field imposition	38
Aver'yanov G. S., Bel'kov V. N., Bur'yan Yu. A., Korchagin A. B., Balashov V. S. — Solution of vibration protection problem of pumping stations of water supply systems	42
Sutyagin O. V., Meshkov V. V., Medintsev S. V. — Influence of solid lubricant coatings and roughness of contacting surfaces on load distribution along threads of threaded joints and screw gears	46
Zyuzin A. A., Konstantinova I. S., Kaz'min B. N., Yurov M. D. — Problem of standardization of inclined orientation of imicroasperities of rough surfaces	51
Yanko V. M. — Lubricating of working surfaces of parts of equipment for reprocessing of polymer materials	54
Blinov D. S., Shatilov A. A. — "Accurate wide-range mandrels with split collet" automated system	57
<i>Problems of tribology — friction, wearing away and lubrication</i>	
Gordeev B. A., Okhulkov S. N., Plekhov A. S., Titov D. Yu., Gorskov V. P. — Flow and relaxation of magnetorheologic liquid in throttle channels of hydraulic bearings	59
Vinokurov G. G., Struchkov N. F., Popov O. N. — Construction of bearing curves of friction surfaces of wear resistant powder coatings	64
MANUFACTURING ENGINEERING	
Smyslov A. M., Bybin A. A., Dautov S. S. — Research of high-temperature gas corrosion of TiNi-B1 intermetallic alloy	68
Ageeva E. V., Ageev E. V., Vorob'ev E. A. — Analysis of shape and morphology of powder particles, obtained from tungsten-containing wastes by electroerosion dispersion in kerosene	72
Gafarov A. M., Suleymanov P. G., Kalbiev F. M., Gafarov V. A. — Research of influence of processing modes on surface layers parts after internal roll burnishing	74
Pustovalov D. A., Mokritskiy B. Ya., Konnova G. V. — Selection of rational tool materials with use of scribing method	77
<i>Problems of theory and practice of materials cutting</i>	
Bekrenев N. V., Muldasheva G. K., Petrovskiy A. P., Tsvetkova O. A. — Analytical determination of cutting forces at ultrasonic processing of high-strength materials taking into account thermal effect	81
<i>Chipless processing of materials</i>	
Malafeev S. I., Konyashin V. I., Malafeeva A. A. — Determination of friction force at metal rolling	83
TECHNICAL INFORMATION	
Troyanovskaya I. P. — Free branch influence of inclination angle on track pretension	86
Lobanov D. V., Efremov I. M., Kuz'michev V. A., Likhonov A. A., Lobanova A. N., Divin D. V. — Rotor and vibration mixer with binary spring-loaded two-frequency spherical vibrator	87

Технический редактор Т. А. Шацкая
Корректор Е. В. Комиссарова

Сдано в набор 05.05.2015. Подписано в печать 14.06.2015.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 10,78.

*Перепечатка материалов из журнала "Вестник машиностроения" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.*

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 621.391.175

В. Е. БОЛНОКИН, Е. Н. ИВАШОВ, доктора технических наук, П. С. КОСТОМАРОВ, В. О. ЯГОВЦЕВ (НИУ "Высшая школа экономики"), email: eivashov@hse.ru

Стратегия технического обслуживания систем управления

Рассмотрена стратегия технического обслуживания сложной технической системы, обеспечивающая максимальную эффективность ее эксплуатации. Решенная оптимизационная задача целочисленного программирования позволяет объединить структурные элементы проекта в группы, оптимальные с позиции минимизации межгрупповых связей.

Ключевые слова: техническая система, автоматизированное проектирование, техническое обслуживание, оптимизационная задача, системы управления.

The policy of maintenance support of a complicated engineering system, providing the maximum effectiveness of its service, is considered. The solved optimization problem of integer programming allows combining the structural elements of a project into groups, optimal from the position of minimization of inter-group connections.

Keywords: engineering system, computer-aided design, maintenance support, optimization problem, control systems.

Создание сложных технических систем (ТС) связано с разработкой стратегии технического обслуживания, позволяющей получить от эксплуатации данной системы максимальную эффективность. Качество технического обслуживания во многом определяет надежность работы системы.

При постановке задачи по оптимизации технического обслуживания, как правило, заданными являются показатели надежности: функция $\Phi(t)$ распределения времени самостоятельного проявления отказа и функция $P(x)$ распределения времени безотказной работы ТС или отдельных ее элементов. Заданными также являются показатели ремонтпригодности: функции распределения времени различных восстановительных работ, которые можно выполнить. Вышеперечисленные показатели и стратегия, в соответствии с которой назначаются сроки проведения восстановительных работ, определяют состояния ТС и развитие этих состояний во времени [1].

Допустим, что множество E возможных состояний ТС конечно: $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$. Тогда функции $x(t)$ (траектории), описывающие эволюцию состояний ТС во времени, будут ступенчатыми. Оп-

ределим функционал этого случайного процесса, который при фиксированных параметрах надежности будет характеризовать стратегию технического обслуживания данной ТС [2]. За конечный отрезок времени $[0, t]$ траектория процесса $x(t)$ задается числом m переходов и моментами переходов: $t_0 = 0 < t_1 < t_2 < \dots < t_m \leq t$; $E_{i_0}, E_{i_1}, \dots, E_{i_m}$, в которых процесс находится между моментами перехода. Тогда функционал определим как математическое ожидание:

$$M \left\{ \sum_{k=0}^{m-1} c_{i_k} (t_{k+1} - t_k) + c_{i_m} (t - t_m) \right\}, \quad (1)$$

где константы c_i будем трактовать как доход, получаемый за единицу времени нахождения ТС в состоянии E_i . При продолжительной эксплуатации ТС ($t \rightarrow \infty$) функционал (1) стремится к бесконечности.

Удельный доход от эксплуатации ТС составит:

$$I = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} M \left\{ \sum_{k=0}^{m-1} c_{i_k} (t_{k+1} - t_k) + c_{i_m} (t - t_m) \right\}. \quad (2)$$

Выражение (1) можно переписать в виде $\sum_{i=1}^n c_i M(X_i(t))$, где $X_i(t)$ — суммарное время пребывания процесса $x(t)$ в состоянии E_i за отрезок времени $[0, t]$. Выражение (2) примет вид:

$$I = \sum_{i=1}^n c_i \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{M(X_i(t))}{t} = \sum_{i=1}^n c_i k_i. \quad (3)$$

Пределы, входящие в выражение (3), можно трактовать как часть времени, которую процесс $x(t)$ находился в состоянии E_i .

Если рассматривать индикатор события E_i

$$\delta_{E_i}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } x(t) = E_i; \\ 0, & \text{если } x(t) \neq E_i, \end{cases}$$

то можно записать:

$$M(X_i(t)) = \int_0^t M(\delta_{E_i}(\tau)) d\tau = \int_0^t P\{x(\tau) = E_i\} d\tau.$$

Тогда выражение

$$\frac{M(X_i(t))}{t} = \frac{1}{t} \int_0^t P\{x(\tau) = E_i\} d\tau$$

означает вероятность того, что в произвольно выбранный момент времени τ из отрезка $[0, t]$ имеет место событие $\{x(\tau) = E_i\}$. Поэтому $k_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{M(X_i(t))}{t}$ можно определить как вероятность того, что в произвольно выбранный момент $\tau \in [0, \infty)$ имеет место событие $\{x(\tau) = E_i\}$.

Для регенерирующего процесса функционал I можно определить как

$$I = \sum_{i=1}^n c_i k_i = \sum_{i=1}^n c_i \frac{M_i}{M} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i M_i}{M}, \quad (4)$$

где k_i — отношение среднего времени M_i , проведенного в состоянии E_i за период регенерации в середине продолжительности периода M [3].

Поведение процесса $x(t)$ зависит от функции $P(t)$ распределения времени безотказной работы ТС. Функция $\Phi(x)$ распределения времени ξ самостоятельного проявления отказа и показателей, определяющих сроки проведения регенерирующих факторов [проведение предупредительных профилактик назначается через случайное время η , которое распределяется по закону $G(x)$]. Следовательно, от этих функций зависят и средние продолжительности M и M_i ($i = \overline{1, n}$).

Предположим, что в момент полного обновления ТС начинается период регенерации и в тот же самый момент назначено очередное техническое обслуживание. Тогда можно записать:

$$M = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty B(x, v, y) dG(x) d\Phi(v) dP(y);$$

$$M_i = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty A_i(x, v, y) dG(x) d\Phi(v) dP(y),$$

где $B(x, v, y)$ — средняя продолжительность периода регенерации процесса $x(t)$ при допущении, что в начальный момент периода начинает функционировать система со временем безотказной работы $\xi = y$, время самостоятельного проявления отказа которой $\zeta = v$, а профилактика назначена через время $\eta = x$, т. е. при условии $\{\xi = y, \zeta = v, \eta = x\}$; $A_i(x, v, y)$ среднее время пребывания процесса $x(t)$ в состоянии E_i в период регенерации при условии осуществления события $\{\xi = y, \zeta = v, \eta = x\}$.

Введем обозначение

$$A(x, v, y) = \sum_{i=1}^n c_i A_i(x, v, y).$$

Тогда исследуемый функционал (4) можно записать как дробно-линейный функционал:

$$I = I(G, \Phi, P) = \frac{A(x, v, y) dG(x) d\Phi(v) dP(y)}{B(x, v, y) dG(x) d\Phi(v) dP(y)}, \quad (5)$$

где $A(x, v, y)$ — усредненный доход, получаемый в период регенерации при условии $\{\xi = y, \zeta = v, \eta = x\}$ [2].

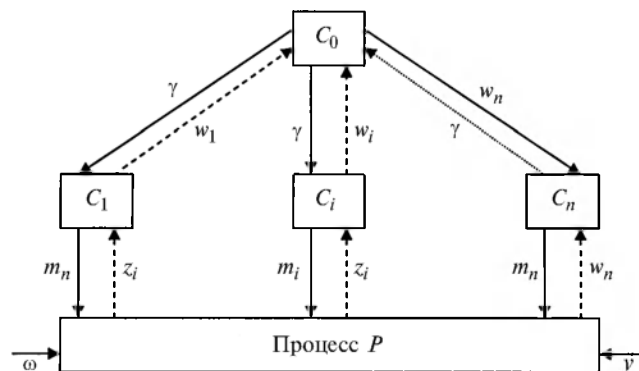
Если процесс $x(t)$, который описывает развитие состояний ТС во времени, будет принимать конечное множество значений и является регенерирующим, то характеризующий качество работы ТС функционал имеет вид дробно-линейного функционала (5) относительно функции $\Phi(x)$ распределения времени самостоятельного проявления отказа, функции $P(t)$ распределения времени безотказной работы и функции $G(x)$ распределения, определяющей периодичность проведения предупредительного технического обслуживания.

В выражении (5) функции $A(x, v, y)$ и $B(x, v, y)$ являются условными математическими ожиданиями при выполнении данного события $\{\xi = y, \eta = x, \zeta = v\}$.

Стратегию управления техническим обслуживанием ТС следует закладывать на этапе формирования системы управления проектами.

Важной проблемой также является распределение функций между проектной и организационной системами управления, так как нередко часть функций по управлению (определение сроков реализации, распределение ресурсов) остается прерогативой центра, что не всегда эффективно. Такие структуры целесообразно применять для крупных проектов, условия реализации которых определены не полностью.

Ни одна из существующих структур не является идеальной. Рассмотрим модель классической двухуровневой иерархической системы, представленную на рисунке [4], где используются следующие обозначения: C_0 — вышестоящая управляющая система (координатор); C_1, \dots, C_n — системы управления нижнего уровня (локальные); $\omega \in \Omega$ — фактор внешней среды; $\gamma \in \Gamma$ — координирующий



Двухуровневая иерархическая система управления проектами

сигнал, $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_n)$; $w = (w_1, \dots, w_n)$ — информационные сигналы от локальных управляющих систем, $w \in W$; $m_i \in M_i$ — управляющие сигналы i -й локальной управляющей системы, $M = M_1 \times \dots \times M_n$; $z_i \in Z_i$ — информационные сигналы, поступающие от процесса, $Z = Z_1 \times \dots \times Z_n$; $y \in Y$ — выход процесса P .

Каждая подсистема выполняет функции:

а) координатора: $C_0: W \rightarrow \Gamma$ (функция координирует работу подсистем нижних уровней);

б) локальных управляющих систем: $C_i: \Gamma \times Z_i \rightarrow M_i$ (функция управления); $F_0: Z \times \Gamma \times M \rightarrow W$ (функция оценки результата);

в) функции процесса: $P: M \times \Omega \rightarrow Y$ (функция производства); $f_i: M \times \Omega \times Y \rightarrow Z_i$ (функция предоставления отчетной информации).

Заметим, что данная модель лишь схематично отражает суть работы системы [4].

Пусть определен общий объем работ по проекту, на основании которого руководитель проекта разрабатывает график работ. В общем виде такой график можно представить как систему, состоящую из объектов трех видов.

Если использовать теоретическо-графовое описание системы: $\Sigma = \langle Q, U, \varepsilon \rangle$, где Q — множество вершин графа; U — множество ребер графа; ε — отношение инцидентности, которое каждому ребру из U ставит в соответствие пару вершин из Q :

$$u \in U \Rightarrow (\exists (p, q) \in Q \times Q)(u \varepsilon (p, q)).$$

Функции определяют поведение различных элементов системы и представлены набором множеств: $F = \langle R, f \rangle$ где $R = (A_i)$ $i \in I$ — семейство базовых множеств A_i (траекторий, ресурсов, сигналов, т. е. множеств, на которых задаются функции); f — множество всех отображений:

$$\prod_{i \in I_1} A_i \rightarrow \prod_{i \in I_2} A_i; \quad I_1, I_2 \subset I,$$

т. е. функций, отражающих определенные задачи реализации проекта. Это связано с затратой ресурсов (денежных средств, сырья и т. д.). В этом случае необходимо учитывать связи, обусловленные наличием ограничений типа

$$\varphi_k \left[f_k \left(\prod_{i \in I} A_i \right) \right] \leq u_k,$$

где u_k — лимит ресурсов, выделенный для реализации k -й функции; φ_k — потребление ресурсов для реализации функции f_k .

Таким образом, график работ представляет собой структуру, вершинам которой поставлены в соответствие функции, а ребрам — базисные множества, на которых эти множества определены. Каждая вершина характеризуется объемом потребляемых ресурсов, временем выполнения своих функций, а каждое ребро можно характеризовать, например, как пропускную способность [4].

Для построения эффективной системы управления необходимо оптимизировать распределение функций f по узлам системы Q . Введем булевы переменные:

$$\xi_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я функция проекта выполняется} \\ & \text{в } j\text{-м узле;} \\ 0, & \text{если не выполняется.} \end{cases}$$

В качестве целевой функции модели распределения функций по узлам можно взять один из следующих функционалов:

минимизация суммарных затрат на выполнение задач:

$$\sum_{\forall i, j} c_{ij} \xi_{ij} \rightarrow \min;$$

минимизация суммарного времени выполнения задач:

$$\sum_{\forall i, j} t_{ij} \xi_{ij} \rightarrow \min;$$

минимизация максимального времени решения задач:

$$\max_j \sum_{\forall i, j} t_{ij} \xi_{ij} \rightarrow \min.$$

В зависимости от особенностей системы управления проектами целочисленная оптимизационная модель распределения отдельных задач проекта по узлам komponуется из приведенных целевых функций и ограничений.

Таким образом, для формирования стратегии технического обслуживания ТС и построения эффективной структуры управления проектами необходимо выделить в группы элементы, наиболее связанные между собой и слабо связанные с другими элементами, т. е. так называемые комплексы работ.

Рассмотренная модель является оптимизационной задачей целочисленного программирования и позволяет объединить структурные элементы проекта в группы, оптимальные с точки зрения минимизации межгрупповых связей, что объединяет два нижних уровня иерархической системы управления, при этом во главе каждого уровня ставится система, управляющая функционированием данного комплекса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. **Вопросы** математической теории надежности / Е. Ю. Барзилович, В. А. Беляев, В. А. Каштанов и др.; под ред. Б. В. Гнеденко. М.: Радио и связь, 1983. 376 с.
2. **Барзилович Е. Ю., Каштанов В. А.** Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы. М.: Советское радио, 1975. 136 с.
3. **Функциональное** моделирование процессов иммерсионной ультрафиолетовой литографии / В. А. Васин, Е. Н. Ивашов, П. С. Костомаров и др. // МГОУ-XXI. Новые технологии. 2012. № 2. С. 9–16.
4. **Болнокин В. Е., Хо Д. Лок.** Адаптивное управление на базе нечетких регуляторов и нейросетевой технологии: Монография. Воронеж: Научная книга, 2012. 280 с.