

УДК 004.382:62-51

doi:10.21685/2072-3059-2021-1-3

Система принятия решений при управлении компьютерной техникой проектных групп на машиностроительном предприятии

Р. А. Учайкин

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

UchaykinRA@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Проблема эффективного использования большого количества компьютерного оборудования на крупных машиностроительных предприятиях ставит задачу создания системы принятия решений по распределению и обслуживанию средств вычислительной техники. Объектом исследования является комплекс средств вычислительной техники проектных групп предприятия. Предметом исследования являются системные модели проектных процессов, использующих компьютерное оборудование. Цель исследования – разработка концепции, структуры и моделей системы принятия решений по использованию компьютерной техники на предприятии. *Материалы и методы.* Исследования выполнены с использованием методов оптимизации, имитационных моделей и метода анализа среды функционирования при оценке эффективности работы проектных групп. *Результаты.* Разработана концепция и структурная схема системы принятия решений на основе трех моделей для оценки эффективности использования компьютерного оборудования. Представлена методика анализа функционирования проектных групп по комплексам ключевых параметров. Приведены результаты компьютерного моделирования и факторы, влияющие на эффективность процесса проектирования. *Выводы.* Предложенная система принятия решений по распределению компьютерной техники в подразделениях машиностроительного предприятия обеспечивает снижение затрат на закупку новой техники, уменьшает время простоя компьютеров при техническом обслуживании, согласует вычислительные ресурсы с проектными задачами.

Ключевые слова: системы принятия решений, вычислительная техника, имитационное моделирование, анализ среды функционирования, оценка эффективности

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-37-90014.

Для цитирования: Учайкин Р. А. Система принятия решений при управлении компьютерной техникой проектных групп на машиностроительном предприятии // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. № 1. С. 23–35. doi:10.21685/2072-3059-2021-1-3

Design support system in control of computer equipment of project groups at machine-building enterprise

R.A. Uchaykin

Samara Polytech Flagship University, Samara, Russia

UchaykinRA@yandex.ru

Abstract. *Background.* The problem of effective use of computer equipment at large machine-building enterprises poses the task of creating a decision-making system for the dis-

tribution and maintenance of computer equipment. The object of the research is a complex of computer facilities of the design groups of the enterprise. The subject of the research is the system models of design processes using computer equipment. The purpose of the study is to develop the concept, structure and models of a decision-making system for the use of computer technology in an enterprise. *Materials and methods.* The studies were performed using optimization problems, simulation models, and data envelopment analysis techniques when assessing the effectiveness of project teams' work. *Results.* A concept and a block diagram of a decision-making system based on three models have been developed to assess the effectiveness of using computer equipment. The article presents a methodology for analyzing the functioning of project teams by a set of key parameters. The results of computer modeling are presented, and factors influencing the design process's efficiency are determined. *Conclusions.* The proposed decision-making system for the distribution of computer equipment in a machine-building enterprise reduces the cost of purchasing new equipment, reduces the downtime of computers during maintenance, and coordinates computing resources with design tasks.

Keywords: decision support systems, computer technology, simulation, data envelopment analysis, performance evaluation

Acknowledgments: the research was financed by the RSF within the research project No. 20-37-90014.

For citation: Uchaykin R.A. Design support system in control of computer equipment of project groups at machine-building enterprise. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2021;1:23–35. (In Russ.). doi:10.21685/2072-3059-2021-1-3

Введение

Автоматизация производственных процессов и внедрение информационных технологий сопровождается увеличением количества используемых компьютеров, усложнением организации вычислительных сетей и многообразием используемого программного обеспечения. На крупных предприятиях число единиц компьютерного оборудования достигает десятков тысяч.

Машиностроительное предприятие космической отрасли традиционно не только решает задачи производства продукции, но и занимается разработкой новых проектов по совершенствованию конструкции изделий и улучшением технологических процессов. В настоящее время на предприятиях решены задачи финансово-экономического учета средств вычислительной техники (СВТ). Однако остается проблема эффективного использования СВТ, которая в первую очередь связана с рациональным распределением единиц СВТ для выполнения различных задач.

Задачи оптимизации распределения СВТ решались в работах [1–3], при этом рассматривался только комплекс технических характеристик компьютеров и каналов связи. Этот подход был развит автором в работе [4] путем модернизации дискретной задачи оптимизации с булевыми переменными, в которой была учтена номенклатура конфигураций рабочих графических станций, инженерных компьютеров и серверов. В исследованиях зарубежных авторов [5, 6] предлагаются сложные сетевые модели для изучения влияния структуры связи на совместное использование вычислительных ресурсов в Системах систем (SoSs). Эти подходы ориентированы на социотехнические системы. В других исследованиях в большинстве случаев внимание уделяется только финансовой стороне обеспечения производства средствами вычислительной техники [7].

Цель настоящего исследования – разработка концепции системы принятия решений (СПР) при оценке эффективности использования компьютерного оборудования и его распределения по проектным группам с учетом планируемых проектных задач и процедур технического обслуживания и ремонта.

Достижение этой цели связано с формулировкой и решением многокритериальных задач системного анализа. Автор в работе [8] предложил комплекс системных моделей, позволяющих решить данную задачу для подразделений крупного машиностроительного предприятия. В настоящей статье рассматриваются модели оценки эффективности на базе метода DEA (Data Envelopment Analysis – Анализ среды функционирования) [9, 10]. Эти модели положены в основу системы принятия решений управления комплексом средств вычислительной техники (СВТ) предприятия. Аналогичные модели успешно применялись при анализе эффективности различных информационных систем.

1. Система принятия решений по комплексу СВТ предприятия

В данной статье описана первая очередь СПР, ориентированная на проектную деятельность предприятия. Это вызвано тем, что именно в проектных группах используются различные конфигурации компьютерной техники: графические станции, инженерные компьютеры, серверы.

Основные задачи, решаемые в разрабатываемой СПР:

- задача распределения СВТ по отделам и группам;
- задача согласования требуемых вычислительных ресурсов с выполняемыми проектами;
- обеспечение процессов технического обслуживания и ремонта;
- задача оценки эффективности использования вычислительных ресурсов;
- определение управляющих воздействий, обеспечивающих выполнение заданных критериев качества функционирования комплекса СВТ.

При разработке структуры СПР в качестве теоретико-методологической основы принят оптимизационно-имитационный подход [11, 12], который заключается в реализации итерационной процедуры: на первом этапе решается задача оптимизации статического распределения СВТ по проектным группам; на втором этапе полученное решение верифицируется на имитационной модели, описывающей проектный процесс с учетом выделенных вычислительных ресурсов. Если имитационное моделирование показывает, что существуют критические ситуации и конфликты между ресурсами, вызывающие невыполнение сроков проектных задач, то проводится повторное решение оптимизационной задачи с измененными ограничениями и исходными данными.

В основу разрабатываемой СПР положен комплекс системных моделей, описанный в [8]. На рис. 1 представлена общая структура СПР комплекса СВТ для проектных групп предприятия.

Множество $\{D_1, \dots, D_N\}$ – комплексы средств вычислительной техники в проектных группах предприятия, D_{N+1} – резервный фонд компьютерного оборудования, создаваемый для замены при ремонте, регламентном обслуживании и возникновении срочной необходимости изменения конфигураций компьютеров в группах.

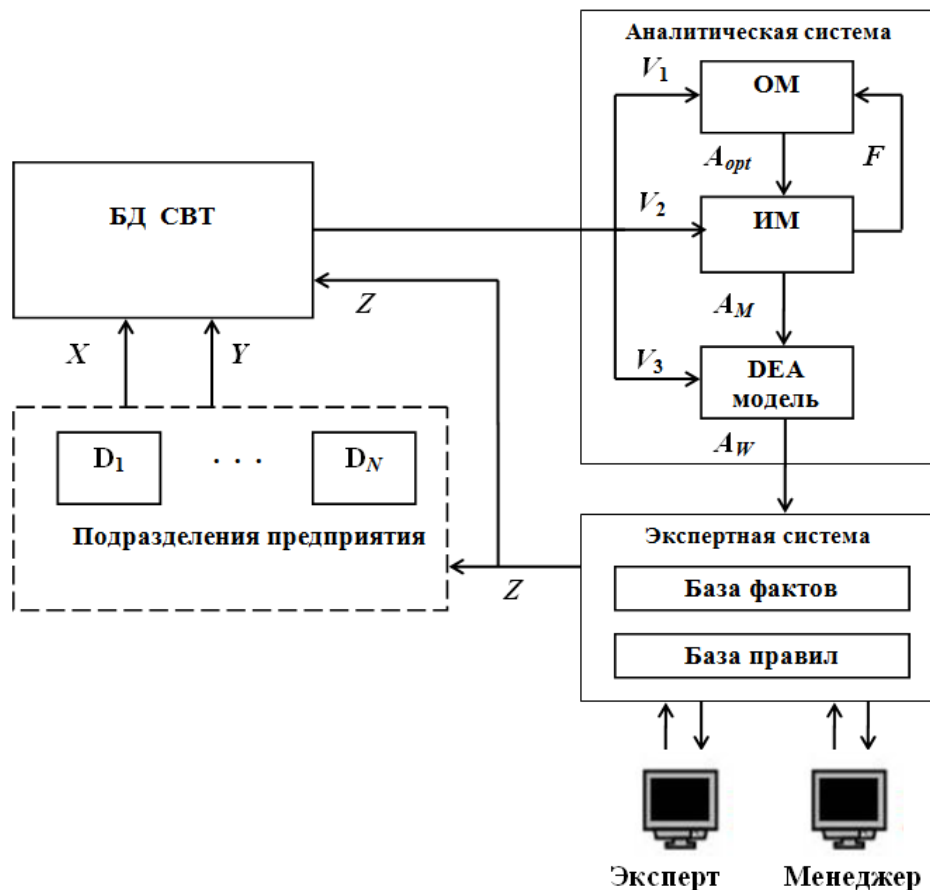


Рис. 1. Структура системы принятия решений

В состав аналитической системы СПР входят следующие блоки:

1. ОМ – оптимизационная модель распределения компьютерного оборудования по проектным группам, формулируемая в виде задачи дискретного программирования с булевыми переменными.

2. ИМ – имитационная модель на основе временных сетей Петри, которая описывает процессы эксплуатации, технического обслуживания и ремонта СВТ при учете графиков выполнения задач проектов.

3. Оценка DEA – модель дробно-линейного программирования для интегральной оценки эффективности работы проектных групп.

4. БД СВТ – база данных по учету существующих СВТ.

Экспертная система содержит базу фактов и базу правил логического вывода решений по прецедентам.

На рис. 1 также обозначены информационные потоки и данные:

а) X – параметры, описывающие проектные процессы, и характеристики компьютерного оборудования;

б) Y – ключевые показатели качества проектирования;

в) Z – управляющие воздействия, вырабатываемые экспертной системой;

г) V_1, V_2, V_3 – данные для оптимизационной, имитационной и оценочной моделей соответственно;

- д) A_{opt} – решение оптимизационной задачи в виде распределения СВТ;
- е) A_M – результаты имитационного моделирования;
- ж) A_W – окончательное решение на совокупности всех трех моделей;
- з) F – корректировка данных оптимизационной задачи, если при анализе имитационной модели выявлено невыполнение заданных критериев качества проектирования.

Множество Z управляющих воздействий имеет вид

$$Z = (P_G, A_D), \quad A_D = (a_{nr}), \quad n = \overline{1, N+1}, \quad r = \overline{1, R}, \quad (1)$$

где P_G – вектор изменений временных параметров диаграммы Ганта проектных задач; $A_D = \{a_{nr}\}$ – матрица распределения СВТ; N – число проектных групп; R – суммарное количество единиц СВТ.

Роль эксперта заключается в анализе решений и выработке корректировок для настройки параметров моделей. Менеджер на основе полученных решений формирует документы для распределения средств вычислительной техники по проектным группам, согласовывает их с планово-экономическими службами.

2. Задача оптимального распределения СВТ и имитационное моделирование процессов проектирования

Задача оптимального распределения компьютерного оборудования формулируется следующим образом [8]:

$$F = \min \left\{ \sum_{j=1}^J (C(x_j) + C_j^E(x_j)) \right\}, \quad x_j \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (2)$$

с набором из K ограничений:

$$\sum_j f_i(x_j) \leq 0, \quad j \in J_i, \quad i = \overline{1, K}, \quad (3)$$

где x_j – булева переменная оптимизации, задающая распределение компьютерного оборудования; J и J_i – индексные множества единиц компьютерного оборудования; C_j и C_j^E – стоимость вычислительных средств и эксплуатации компьютерного оборудования соответственно.

Решение этой задачи связано с дискретным характером обработки данных, что приводит к необходимости использования алгоритмических ограничений. В частности, одно из ограничений в (3) в виде логического выражения запрещает назначение одной задачи нескольким проектным группам одновременно. Нами использован оптимизационно-имитационный подход [12], при котором в задаче (2)–(3) рассматриваются только аналитические ограничения в форме математических выражений типа «неравенство». Все алгоритмические ограничения проверяются на имитационной модели на следующем этапе анализа.

Для рассматриваемой задачи алгоритмические ограничения связаны в первую очередь с сетевым графиком выполнения проектно-конструкторских задач и планированием распределения вычислительных ресурсов в проектных группах на длительном периоде времени. В результате первоначаль-

ного планирования проекта определяется диаграмма Ганта, согласно которой задаются времена и последовательность выполнения работ:

$$G = (B_P, T_P, V_G),$$

где $B_P = \{b_1, \dots, b_{M_Z}\}$ – проектные задачи; $T_P = \{\tau_1, \dots, \tau_{M_Z}\}$ – множество заданных длительностей выполнения задач; V_G – связи между задачами.

На этой диаграмме должны быть найдены критические пути и для каждой работы $b_i \in G$ рассчитаны параметры $\tau_i^{ES}, \tau_i^{LS}, \tau_i^{EF}, \tau_i^{LF}$ – моменты раннего ES и позднего LS начала и раннего EF и позднего LF окончания задачи.

Таким образом, после получения решения A_{opt} оптимизационной задачи с использованием диаграммы Ганта G следует найти отображение $(G, A_{opt}) \rightarrow \text{ИМ}$ в имитационную модель ИМ. Тогда оптимизационно-имитационная процедура носит итерационный характер и имеет вид:

$$\text{ОМ}_1 \rightarrow \text{ИМ}_1 \rightarrow \text{ОМ}_2 \rightarrow \text{ИМ}_2 \rightarrow \dots \rightarrow \text{ОМ}_s \rightarrow \text{ИМ}_s \rightarrow \text{DEA}.$$

Выбор способа представления изучаемых процессов в имитационной модели имеет большое значение. Для исследования процессов в вычислительных системах и сетях успешно применяют различные модификации сетей Петри. Например, для проектирования архитектур облачно-сетевых вычислительных систем в работах [13, 14] предложены сетевая компьютерная интерпретация исполнимых логико-алгебраических моделей и аппарат логических сетей Петри. Для решения задачи, поставленной в данной статье, был выбран аппарат временных сетей Петри [15, 16].

Временная сеть Петри есть кортеж

$$N = (P, T, W, \omega, M_0, f),$$

где P – множество позиций; T – множество переходов; $W \subset (P \times T) \cup (T \times P)$ – множество дуг между позициями и переходами (отношение инцидентности); ω – весовая функция на дугах сети; M_0 – начальная разметка сети; f – функция времени срабатывания переходов, присваивающая каждому переходу неотрицательное число.

Достоинство временной сети Петри в том, что заключение о корректности моделируемого процесса может быть сделано по структуре сети без непосредственной имитации срабатывания переходов. Другое преимущество в том, что сеть Петри позволяет четко определить взаимодействие задач.

В разработанной СПР, в отличие от известных имитационных моделей вычислительных процессов, решена задача определения периодов технического обслуживания и ремонта СВТ и согласование их с графиком выполнения проектных задач. Результаты работы имитационной модели в виде A_M поступают на модель DEA оценки эффективности решений (см. рис. 1).

3. Модели оценки эффективности проектных групп

Методология DEA использует модели ССР (Купера – Чарнеса – Родса) и ВСС (Банкера – Купера – Чарнеса) [10]. Такие модели представляют собой задачи линейного программирования, которые находят весовые коэффициенты для известных входных и выходных показателей каждой анализи-

руемой проектной группы. Эти веса позиционируют проектные группы в пространстве показателей относительно границы эффективности. Вектор перемещения объекта на границу эффективности определяет целевые изменения параметров групп для повышения качества проектирования.

Модель ВСС_{output}, ориентированная на выход, представлена в виде

$$\left. \begin{aligned} \min_{\theta_B, \lambda} \theta_B, \\ -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ \theta_B x_i - X\lambda \geq 0, \\ e\lambda = 1, \lambda \geq 0, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где θ_B – интегральный критерий эффективности исследуемой проектной группы; X и Y – матрицы входных и выходных параметров соответственно; x_i и y_i – вектор-столбцы индивидуальных входов и выходов для i -й группы в матрицах X и Y ; e – вектор-строка с единичными элементами; λ – полуположительный вектор (фактор взвешивания).

В рассматриваемом ниже примере в качестве входных параметров использованы следующие характеристики компьютеров: p_1, p_2, \dots, p_L – производительности компьютеров каждой конфигурации; v_1, v_2, \dots, v_L – число компьютеров с данной конфигурацией в проектной группе. Суммарная производительность всех компьютеров в проектной группе считается выходным параметром оценочной модели. Будем рассматривать две базовые графические конфигурации компьютеров и одну инженерную конфигурацию. Они имеют следующие значения производительности: $p_1 = 108,8$ GFlops, $p_2 = 115,2$ GFlops и $p_3 = 230,4$ GFlops. Производительность p_3 инженерного компьютера значительно выше за счет того, что в нем установлены 6-ядерные 12-поточные микропроцессоры Intel Core i7-8700K. Тогда в модели оценки эффективности проектной группы будут анализироваться четыре параметра: три входные (X_1, X_2, X_3 – число компьютеров каждой конфигурации) и один выходной (Y_1 – суммарная производительность в проектной группе).

Полный набор анализируемых показателей проектных групп приведен в табл. 1. Ключевые параметры, которые описывают качество проектирования: коэффициент ошибочных проектных решений, коэффициент изменения планового срока проекта, удельный объем работы на одного сотрудника. Параметры X_5, X_6, X_7 и Y_4 определяются методами экспертных оценок.

Таблица 1

Входные и выходные параметры для оценочной модели DEA

Обозначение	Параметр	Диапазон значений
1	2	3
X1	Число компьютеров с графической конфигурацией Тип 1	1–10
X2	Число компьютеров с графической конфигурацией Тип 2	1–10
X3	Число компьютеров с инженерной конфигурацией Тип Инж.	1–10

Окончание табл. 1

X4	Количество сотрудников в группе	5–20
X5	Коэффициент ошибочных проектных решений, %	< 20
X6	Сумма штрафных баллов проектной группы за невыполнение в срок этапов работы	1–20
X7	Коэффициент досрочного завершения или превышения планового срока проекта	0,8–1,2
Y1	Суммарная производительность графических станций в группе, GFlops	500–6000
Y2	Количество одновременно выполняемых проектных задач	1–20
Y3	Удельная производительность компьютеров в группе на одного сотрудника, GFlops/чел.	25–1200
Y4	Уровень средней компетенции сотрудников в группе, баллы	0–100
Y5	Удельный объем работы на сотрудника, задачи/чел.	0,05–4,0

4. Эксперименты и обсуждение результатов

Экспериментальное исследование предлагаемой методики проводилось для множества проектных групп G1, ..., G7 предприятия. В табл. 2 приведены характеристики проектных групп, полученные на основе анализа их деятельности во втором полугодии 2019 г.

Таблица 2

Значения параметров модели DEA (второе полугодие 2019 г.)

Параметр	Проектные группы						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
X1	2	3	4	4	1	3	3
X2	2	6	0	6	2	4	1
X3	2	1	4	4	1	4	1
X4	7	8	10	9	5	8	6
X5	7	0	5	10	3	0	4
X6	15	0	0	10	0	0	0
X7	1,15	1	1	1,1	0,8	1	1
Y1	908,8	1248	1356,8	2048	569,6	1708,8	672
Y2	5	8	15	12	4	9	3
Y3	129,8	156	135,68	227,55	113,9	213,6	112
Y4	65	85	85	70	80	90	75
Y5	0,7	1	1,5	1,2	0,8	1,12	0,5

Для обработки данных оценочной модели DEA была использована программа PIM DEASoft 3.0, которая выполняет решение модели (4) с различными модификациями режимов и начальных условий. В результате определяется набор целевых изменений параметров анализируемых объектов относительно границы эффективности. Кроме того, большое значение имеет визуальный контроль объектов на диаграммах PPS (Production Possibility Set). Это позволяет аналитику оперативно определить наиболее рациональные способы повышения эффективности путем изменения значимых характеристик компьютерного оборудования и проектного процесса.

На рис. 2 показана диаграмма для двух периодов времени (первое и второе полугодие 2019 г.), характеризующая положение проектных групп относительно границ эффективности.

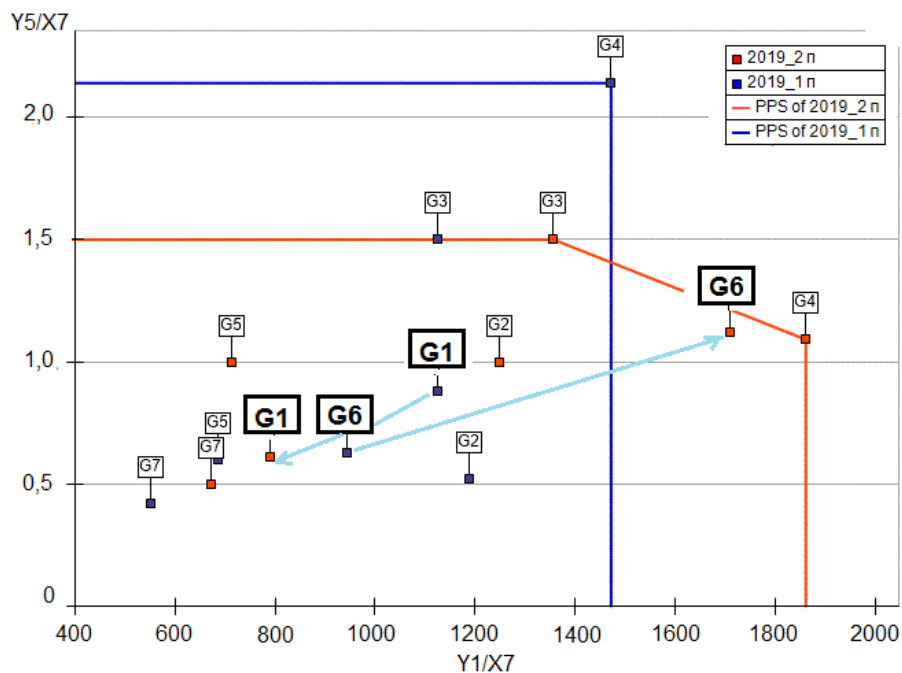


Рис. 2. Диаграмма положения проектных групп в зависимости от суммарной производительности компьютеров Y_1 , удельного объема работ на сотрудника Y_5 и коэффициента изменения срока проектов X_7

В частности, синими стрелками показано перемещение двух проектных групп: во втором полугодии 2019 г. группа G6 улучшила свои показатели, тогда как группа G1 переместилась в пространстве параметров дальше от границы. Это связано с тем, что для G1 во втором полугодии следовало установить компьютеры: Тип 1 – 4 шт., Тип 2 – 3 шт., Тип Инж. – 3 шт. Тогда достигалась бы суммарная производительность $Y_1 = 1470$ GFlops. В действительности в группу G1 было распределено по два компьютера каждого типа соответственно. Это обеспечило только $Y_1 = 908$ GFlops, в результате чего снизился удельный объем работ Y_5 с 2,14 до 0,7. Кроме того, коэффициент изменения срока проекта X_7 вырос до 1,15, что означает задержку выполнения проекта на 15 % и увеличение штрафных баллов X_6 до 15.

Также для примера приведена диаграмма (рис. 3), показывающая целевые изменения параметров для группы G2, которые выводят ее на границу, обеспечивая экстремум критерия эффективности.

Если число сотрудников группы принять равным семи, то следует повысить их компетентность с 85 до 95 баллов и увеличить удельную производительность компьютеров с 156 до 173,6 GFlops. Тогда группа G2 становится эффективной наравне с группами G5 и G6.

В результате можно сделать следующие выводы:

1. При достаточно большом количестве входных и выходных параметров многофакторность приводит к необходимости исследования различных

графиков PPS. Кроме того, результаты решения оптимизационной и имитационной моделей и модели DEA представляют собой множество комбинаций значений параметров, обеспечивающих различный уровень эффективности. Анализ этих данных следует возложить на экспертную систему СПР, в которой формируется база фактов по результатам работы моделей.

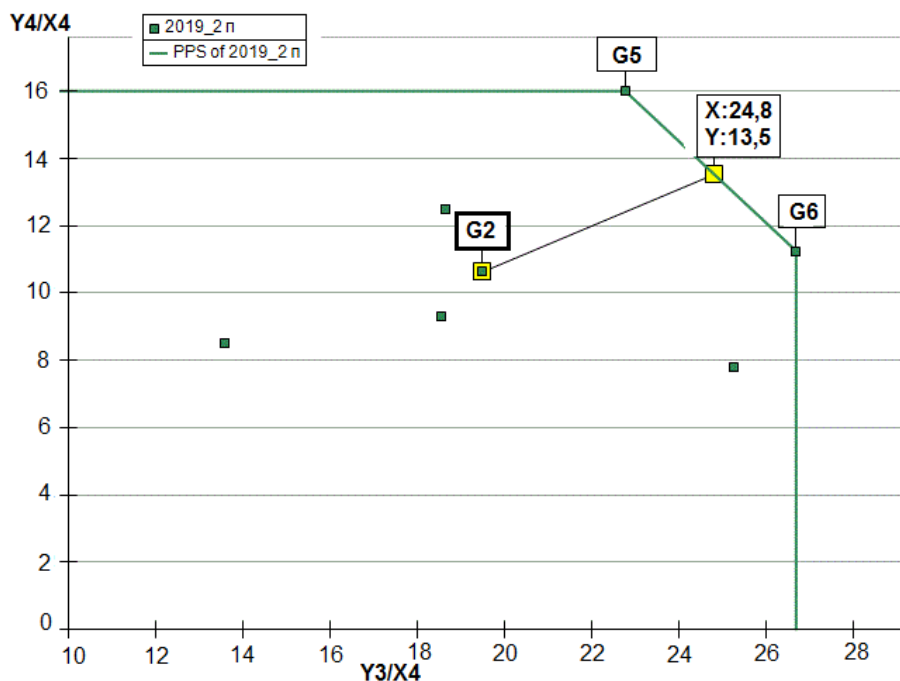


Рис. 3. Диаграмма с целевыми изменениями параметров X_4 , Y_3 и Y_4 группы G2

2. Выбор наиболее рациональных управляющих воздействий для достижения проектной группой границы эффективности следует производить с использованием продукционной модели представления знаний. Для этого на основе базы фактов формируется база правил логического вывода решений для менеджера СПР по оснащению или переоснащению проектных групп средствами вычислительной техники.

3. Характерная черта работы проектных групп на машиностроительном производстве – короткие сроки выполнения проектных задач, в отличие от крупных проектных организаций. Это обуславливает вариативность способов использования СВТ и необходимость постоянного контроля и анализа эффективности работы проектных групп.

Заключение

Разработан подход к построению системы принятия решений при управлении комплексом СВТ с использованием трех системных моделей, охватывающих различные аспекты функционирования проектных подразделений предприятия. Это обеспечивает принятие обоснованных управленческих решений как в долгосрочном планировании, так и при текущем управлении техническим обслуживанием компьютерной техники.

Дальнейшее развитие работ направлено на построение детальной имитационной модели проектных процессов с использованием раскрашенных сетей Петри и выполнение экспертной системой анализа альтернативных сценариев по распределению компьютерного оборудования.

Список литературы

1. Дидрих В. Е., Дидрих И. В., Громов Ю. Ю., Ивановский М. А. Задача распределения ресурсов в сетевой информационной системе // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Т. 22, № 4. С. 541–549.
2. Ауад М., Борщ В. В., Лазаренко А. В., Минин Ю. В. Оптимизационные задачи выбора и распределения ресурсов в информационных системах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2014. № 1. С. 43–46.
3. Наботов К. А., Минин Ю. В., Иванова О. Г., Баранов А. В. К вопросу о моделировании процесса распределения ресурсов в информационных системах для объектов стратегического значения. Ч. 1. Постановка задачи // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2012. № 2. С. 65–69.
4. Учайкин Р. А., Орлов С. П. Задача распределения средств вычислительной техники на машиностроительном предприятии // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер.: Технические науки. 2019. № 4. С. 84–98.
5. Democ V., Vyhnalíkova Z., Alac P. Proposal for optimization of information system // Procedia Economics and Finance. 2015. № 34. P. 477–484.
6. Mosleh M., Ludlow P., Heydari B. Resource allocation through network architecture in systems of systems: A complex networks framework // Proceedings of the 2016 Annual IEEE Systems Conf. (SysCon) (Orlando, FL, USA). Orlando, 2016.
7. Mosleh M., Ludlow P. Distributed Resource Management in Systems of Systems: An Architecture Perspective // System Engineering. 2016. № 19. P. 362–374.
8. Orlov S. P., Uchaikin R. A., Burkovsky A. V. System models of organization the use of computer equipment for mechanical engineering production // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. P. 1–9.
9. Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K. Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. 2nd edn. Boston : Springer Science + Business Media, 2007. 492 p.
10. Cooper W. W., Seiford L. M., Zhu J. Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. Handbook on Data Envelopment Analysis. Boston : Springer, 2011. P. 1–39.
11. Antonova G. M., Tsvirkun A. D. Modern Ability of Optimization-Simulation Approach // IFAC Proceedings. 2008. Vol. 41 (2). P. 15811–15816.
12. Uchaikin R. A., Orlov S. P. Optimization-simulation approach to the computational resource allocation in a mechanical engineering enterprise // Journal of Phys.: Conf. Ser. 2020. Vol. 1679. P. 1–6.
13. Волчихин В. И., Зинкин С. А., Карамышева Н. С. Организация функционирования облачно-сетевых распределенных вычислительных систем с архитектурой «агенты как сервисы» // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2019. № 4. С. 27–50.
14. Зинкин С. А., Джафар Мустафа Садек, Карамышева Н. С. Концептуальные представления и модификации сетей Петри для приложений в области синтеза функциональной архитектуры распределенных вычислительных систем с переменной структурой // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6. С. 43–167.
15. Silva J. R., Del Foyo P. M. G. Timed Petri Nets // Manufacturing and Computer Science. Chapter 16. IntechOpen, 2012. P. 359–370.
16. Calvez S., Aygalinc P., Khansa W. P-time Petri Nets for manufacturing systems with staying time constraints // IFAC Proceedings Volumes. 1997. Vol. 30, iss. 6. P. 1487–1492.

References

1. Didrikh V.E., Didrikh I.V., Gromov Yu.Yu., Ivanovskiy M.A. The problem of resource allocation in a network information system. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Tambov State Technical University*. 2016;22(4):541–549. (In Russ.)
2. Auad M., Borshch V.V., Lazarenko A.V., Minin Yu.V. Optimization problems of selection and distribution of resources in information systems. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika = Devices and systems. Management, control, diagnostics*. 2014;1:43–46. (In Russ.)
3. Nabatov K.A., Minin Yu.V., Ivanova O.G., Baranov A.V. On the issue of modeling the process of resource allocation in information systems for objects of strategic importance. Part 1. Statement of the issue. *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii = Bulletin of Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia*. 2012;2:65–69. (In Russ.)
4. Uchaykin R.A., Orlov S.P. The problem of distribution of computer facilities at a machine-building enterprise. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Tekhnicheskie nauki = Bulletin of Samara State Technical University. Series: Engineering sciences*. 2019;4:84–98. (In Russ.)
5. Democ V., Vyhnalikova Z., Alac P. Proposal for optimization of information system. *Procedia Economics and Finance*. 2015;34:477–484.
6. Mosleh M., Ludlow P., Heydari B. Resource allocation through network architecture in systems of systems: A complex networks framework. *Proceedings of the 2016 Annual IEEE Systems Conf. (SysCon) (Orlando, FL, USA)*. Orlando, 2016.
7. Mosleh M., Ludlow P. Distributed Resource Management in Systems of Systems: An Architecture Perspective. *System Engineering*. 2016;19:362–374.
8. Orlov S.P., Uchaikin R.A., Burkovsky A.V. System models of organization the use of computer equipment for mechanical engineering production. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020;862:1–9.
9. Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. 2nd edn. Boston: Springer Science + Business Media, 2007:492.
10. Cooper W.W., Seiford L.M., Zhu J. *Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. Handbook on Data Envelopment Analysis*. Boston: Springer, 2011: 1–39.
11. Antonova G.M., Tsvirkun A.D. Modern Ability of Optimization-Simulation Approach. *IFAC Proceedings*. 2008;41(2):15811–15816.
12. Uchaikin R.A., Orlov S.P. Optimization-simulation approach to the computational resource allocation in a mechanical engineering enterprise. *Journal of Phys.: Conf. Ser.* 2020;1679:1–6.
13. Volchikhin V.I., Zinkin S.A., Karamysheva N.S. Organization of the functioning of cloud-network distributed computing systems with “agents as services” architecture. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2019;4:27–50. (In Russ.)
14. Zinkin S.A., Dzhafer Mustafa Sadek, Karamysheva N.S. Conceptual representations and modifications of Petri nets for applications in the field of synthesis of the functional architecture of distributed computing systems with variable structure. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2018;22(6):43–167. (In Russ.)
15. Silva J.R., Del Foyo P.M.G. Timed Petri Nets. *Manufacturing and Computer Science*. Chapter 16. IntechOpen, 2012:359–370.
16. Calvez S., Aygalinc P., Khansa W. P-time Petri Nets for manufacturing systems with staying time constraints. *IFAC Proceedings Volumes*. 1997;30(6):1487–1492.

Информация об авторах / Information about the authors

Роман Александрович Учайкин

аспирант, Самарский государственный
технический университет
(Россия, г. Самара
ул. Молодогвардейская, 244)

E-mail: UchaykinRA@yandex.ru

Roman A. Uchaykin

Postgraduate student, Samara
Polytech Flagship University
(244 Molodogvardeyskaya street,
Samara, Russia)

Поступила в редакцию / Received 04.12.2020

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 15.12.2020

Принята к публикации / Accepted 29.12.2020