

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В. В. ЗАХАРОВ

*Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
199178, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: valeriov@yandex.ru*

Проанализированы результаты разработки „эталонных“ программ скоординированного функционирования и модернизации современных корпоративных информационных систем складской подсистемы промышленного предприятия на основе метода локальных сечений В. Г. Болтянского и нечетко-возможностного подхода. Показано, как с помощью специального модельно-алгоритмического обеспечения можно одновременно учесть как динамику основных пространственно-временных, технологических, технических и организационных ограничений, так и знания экспертов, связанные модернизацией сложного объекта.

Ключевые слова: планирование модернизации, комплексное моделирование, корпоративные информационные системы, цифровая трансформация

Введение. В период обновления инфраструктуры промышленных предприятий, которые являются сложными объектами (СЛО), на достаточно длительном интервале времени происходит совместная эксплуатация элементов и подсистем „существующей“ и „новой“ корпоративной информационной системы (КИС). Важно, что в этих условиях показатели качества и эффективности бизнес-процессов (БП) не должны ухудшаться. Таким образом, особую значимость приобретает разработка специального модельно-алгоритмического обеспечения комплексного планирования функционирования и модернизации КИС [1, 2].

Состояние исследований. Анализ показывает, что рассматриваемую задачу следует отнести к классу структурно-функционального синтеза облика СЛО и разработки программ перевода динамического объекта из заданного в конечное заданное структурное состояние [3]. Традиционно это предполагает поиск решения большеразмерной многокритериальной задачи дискретной оптимизации [1, 4]. В то же время практическое применение известных методов существенно затруднено тем, что детальное описание предметной области (в т.ч. пространственно-временных ограничений) неразрывно связано с увеличением размерности и сложности совместного математического представления производственных и информационных процессов (логики функционирования) [4, 5]. Таким образом, по результатам анализа можно утверждать, что до сих пор не:

- 1) учитываются динамические взаимосвязанные ограничения на непрерывность физических и информационных процессов;
- 2) снижена вычислительная сложность применяемых процедур без потери точности решения;
- 3) учитывается контекстная информация [6].

Вместе с тем результаты использования традиционных подходов к планированию функционирования и модернизации КИС достаточно трудно предвидеть. Многоаспектность формальной постановки задачи приводит к необоснованному применению эвристических процедур и появлению „быстрых“ алгоритмов, равно как и узкоспециализированных методов. Наряду с этим в силу внутренних противоречий между математическими конструктами на каждом уровне описания КИС можно наблюдать накопление ошибок и, как следствие, — увеличение затрат времени и снижение качества выпускаемой продукции.

Между тем, при „оперативном управлении лицом, принимающее решение (ЛПР), преимущественно имеет дело с задачей многокритериального выбора на конечном множестве альтернатив“ [7]. На практике стратегические и локальные цели предприятий достигаются в условиях неопределенности, а решаемые задачи слабо формализованы. Следовательно, дополнительное внимание необходимо уделить анализу путей интеграции гетерогенных данных, информации и знаний в процесс синтеза (выбора) окончательного решения [8, 9].

Преодолеть указанные выше проблемы, на наш взгляд, позволят возможности, заложенные в принципах системного моделирования, комплексного планирования и интеграции экспертных оценок в процесс синтеза соответствующих программ [10]. Для этого предлагается опираться на логико-динамическое представление процессов функционирования и модернизации КИС [8], а также привлечь фундаментальные результаты современной теории оптимального управления структурной динамикой СЛО для составления расписаний [7].

Постановка задачи управления модернизацией корпоративной информационной системы. Прежде чем приступить к постановке задачи, введем ряд понятий. Это позволит корректно описать рассматриваемые процессы во времени, а также учесть особенности основных разномасштабных ограничений рассматриваемой предметной области.

Концепт „БП“ представляет последовательность операций преобразования входных информационно-материальных потоков в выходные для получения результатов, направленных на достижение стратегических целей СЛО [11]. В эпоху „Индустрии 4.0“ реализация БП невозможна без информационной поддержки.

„Ресурс“ — это средства производства изделий и услуг в СЛО и КИС, аппаратно-программное обеспечение, оборудование, материалы, энергия, транспорт, финансовые ресурсы и др.

Концепт „структура“ характеризует устойчивые отношения и способы взаимодействия элементов, определяющих целостность и основы организации системы [1]. По отношению к КИС выделяются следующие понятия: структура целей, функций и задач; организационная, техническая структура; структура информационного, математического и программного обеспечения; структура технологии параллельного функционирования и модернизации КИС [8].

„Сервис“ характеризуется текущим и требуемым объемом данных определенного типа (в т.ч. информации и знаний), которые подлежат обработке или передаче (с разной интенсивностью) в процессе предоставления информационных сервисов БП (услуг) [12]. Они могут быть внутренними и внешними, т.е. являться ресурсами для верхнего уровня и задачами для нижестоящего.

На рисунке приведены взаимосвязи аппаратно-программных ресурсов КИС и внутренних сервисов на этапе модернизации (для сохранения наглядности не изображены БП, а также горизонтальные связи между сервисами и аппаратно-программными средствами).



В ходе исследования рассматривался проект по модернизации (замене аппаратно-программных средств на новые силами информационной службы промышленного предприятия) складского модуля КИС. В табл. 1 приведены характеристики элементов КИС.

Таблица 1

Характеристики элементов КИС

Характеристика	После модернизации	До модернизации
IEEE протокол Wi-Fi-сети	WLAN (802.11 b/g/n)	WLAN (802.11 a/b/g)
Емкость аккумулятора считывателя, мА·ч	5000	2300
Частота вращения шпинделя жесткого диска, об/мин	10 000	7200
Число ядер процессора	24	16
Объем оперативной памяти, ГБ	32	16
Число портов	48	24
Ширина канала связи Wi-Fi, МГц	20\40\80	20\40
Категория кабеля	Cat. 6	Cat. 5

При модернизации используются элементы прежнего производителя, но с лучшими характеристиками, поскольку применение разнородного оборудования усложняет администрирование информационной инфраструктуры. Работы по модернизации подчиняются технологическому регламенту. Он определяется особенностями функционирования и модернизации унаследованных и внедряемых элементов. Директивный интервал планирования составлял семь недель. Шаг планирования — один день.

Содержательную постановку задачи модернизации КИС можно свести к следующему: задана некоторая совокупность операций на всех уровнях иерархии рассматриваемого СЛО с набором характеристик (длительность, стоимость, срок выполнения операций и т.д.); определено множество информационных сервисов и ресурсов КИС (ЭВМ, серверов баз данных, коммутаторов и т.д.), которые необходимо задействовать для достижения результатов, другими словами, выполнения БП в полном объеме, а также технологии функционирования на каждом уровне (БП, функционирования КИС, модернизации КИС). Необходимо построить расписание (на каком ресурсе, какая операция, в какое время должна выполняться), минимизирующее один или несколько показателей качества, таких как время и объем операций (на каждом уровне), совокупная стоимость операций и услуг. Требуется учесть основные технологические и пространственно-временные ограничения, связанные с процессами как функционирования КИС, так и модернизации ее ресурсов [2, 3, 13]. Если таких управляющих воздействий (комплексных планов) несколько, среди них необходимо выбрать те, при которых обобщенный показатель качества принимает экстремальное значение. Различные варианты постановок и решений указанной задачи рассматривались ранее в работах [1, 2, 10, 13—15].

В табл. 2 представлены результаты решения исследуемой задачи, включающие в себя: улучшенные характеристики интенсивности реализации информационных услуг на ресурсах КИС, улучшенные характеристики производительностей сервисов на ресурсах КИС, а также улучшенные характеристики объемов оперативной памяти ресурсов.

Таблица 2

Влияние модернизации на характеристики КИС

Элементы КИС	Характеристика ресурсов	Улучшение характеристик, %	Число элементов	
			до модернизации	после модернизации
RFID-считыватель	Сокращение времени предоставления услуги	30	11	12
Сервер БД	Производительность	50	3	2
	Объем оперативной памяти	50		
Коммутатор	Производительность	50	4	3
Маршрутизатор	Сокращение времени предоставления услуги	20	2	2
Каналы связи	Сокращение времени предоставления услуги	20	50	40

Метод и алгоритм решения задач управления функционированием и модернизацией КИС. В основу описания процессов функционирования и модернизации КИС предлагается положить иерархический полимодельный комплекс, состоящий из логико-динамических моделей программного управления: БП, функционированием КИС, модернизацией КИС.

Исходя из представленных выше целей, на этапе синтеза скоординированных программ управления функционированием и модернизацией КИС были введены: показатель оперативности проведения работ; показатель полноты завершения операций; стоимостные показатели качества [15].

Кроме того, в рамках предложенного в работах [9, 10, 15, 13, 16] подхода ЛПП, опираясь на методику многокритериального оценивания [17], ответили на 8 вопросов для каждого уровня иерархии рассматриваемого сложного динамического объекта (складской подсистемы предприятия и модуля КИС). Далее были получены три нечетко-возможностных полинома для всех уровней на основе логико-продукционных правил. Это позволило на основе ранее разработанных алгоритмов планирования (см. [9, 13, 15]) в автоматическом режиме произвести расчет приоритетов взаимосвязанных операций, описывающих процессы функционирования и модернизации КИС.

Иными словами, в научном и техническом плане применяемый подход, реализованный в виде соответствующего прототипа программного обеспечения, предоставляет потенциальным пользователям возможность не только одновременно описать логику пространственно-временных и техническо-технологических ограничений, но и корректно объединить экспертные знания и формальные логико-динамические модели, что не удавалось сделать ранее.

В табл. 3 приведены некоторые результаты исследования влияния количества доступных ресурсов и вариантов их распределения на качество комплексных планов функционирования и модернизации КИС („Вариант I“ — высокая; „Вариант II“ — умеренная; „Вариант III“ — низкая степень унификации внедряемых информационных ресурсов).

Таблица 3

Результаты проведенных экспериментов

Исходные данные	Вариант I	Вариант II	Вариант III
Число элементов, которые требуют модернизации	40	50	70
Запланированное число модернизируемых элементов	10	30	65
Время эвристической модернизации	22	33	44
Время модернизации с использованием предлагаемого подхода	20	28	41
Результирующий показатель качества для эвристических планов	1117	901	408
Результирующий показатель качества для разработанного плана	1284	1013	454

По результатам проведенных экспериментов выявлены следующие закономерности:

1) наибольший эффект от использования разработанного подхода достигается при умеренном количестве унифицированных ресурсов, т.е. более 65 % модернизируемых и внедряемых ресурсов КИС обладают технической возможностью поддерживать более двух информационных сервисов;

2) по сравнению с традиционными подходами, разработанный комбинированный алгоритм часто требует больших вычислительных ресурсов. Это связано с возникновением цикла на этапе итерационного счета [18], когда изменение обобщенного показателя качества не

удовлетворяет заданным ограничениям (в данной ситуации полагается провести анализ прерываний);

3) применение логико-динамических моделей, нечетко-возможностного подхода и методов оптимального управления позволяет повысить обоснованность принимаемых управленческих решений. Предложенный в работе [10] комбинированный алгоритм решения задачи комплексного планирования функционирования и модернизации КИС предполагает привлечение специалистов в соответствии с их квалификацией. По отношению к каждому уровню иерархии (БП, функционирования КИС, модернизации КИС) формируется план, который учитывает знания квалифицированных экспертов: менеджеров, которые обеспечивают реализацию БП; информационных служб на уровне функционирования КИС; специалистов-интеграторов;

4) полученный вектор программного управления (управляющих воздействий) должен использоваться в качестве эталонного комплексного плана. Он имеет формальное математическое обоснование, в отличие от получаемых с использованием традиционных эвристических методов и алгоритмов;

5) результаты, полученные благодаря привлечению нового комбинированного алгоритма и модифицированного метода локальных сечений В. Г. Болтянского, характеризуются полнотой, замкнутостью и непротиворечивостью [19, 20];

6) обоснованность планирования определяется числом сгенерированных и проанализированных сценариев [21]. Количество вариантов скоординированного функционирования и модернизации КИС обычно не превышает трех, в то время как в рамках итерационного счета (процедура последовательных приближений) в среднем происходит автоматизированный синтез не менее 4—5 программ, что говорит о повышении обоснованности принимаемых решений в среднем на 50 % по сравнению с традиционными эвристическими подходами [18].

Заключение. Проведенные машинные эксперименты показали, что внедрение разработанных логико-динамических моделей и комбинированного алгоритма синтеза программ модернизации и функционирования КИС, а также интеграции экспертных знаний позволяет в среднем на 5—15 % повысить полноту и оперативность реализации синтезированных планов. При этом стоимость модернизации может быть снижена в среднем на 8—14 %.

Перспективным направлением дальнейших исследований является расширение разработанного иерархического полимодельного комплекса программного управления промышленным предприятием и модернизацией соответствующей КИС, разработка методов и алгоритмов решения перечисленных задач комплексного планирования с помощью геометрической теории оптимального управления.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (20-08-01046), в рамках бюджетной темы № 0073–2019–0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ivanov D., Sokolov B., Evelio A. D. R.* Integrated dynamic scheduling of material flows and distributed information services in collaborative cyber-physical supply net-works // Intern. J. of Systems Science: Operations & Logistics. 2014. Vol. 1, N 1. P. 18—26.
2. *Захаров В. В.* Программно-математическое обеспечение процесса модернизации сложных объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 11. С. 975—984.
3. *Потрясаев С. А.* Математическое и программное обеспечение синтеза технологий и планов работы киберфизических систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, №1. С. 939—946.
4. *Аничкин А. С., Семенов В. А.* Современные модели и методы теории расписаний // Труды ИСП РАН. 2014. Т. 26, № 3. С. 5—50.

5. Семенкина О. Е., Попов Е. А. Бионические алгоритмы решения иерархической задачи составления расписания при оперативном планировании производства // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. „Приборостроение“. 2019. № 3(126).
6. Popov V. D., Spesivtsev A. V., Sukhoparov A. I., Spesivtsev V. A. Convolution of multi-criteria expert estimates in a context of uncertainty // XX IEEE Intern. Conf. on Soft Computing and Measurements (SCM). 2017. P. 203—206.
7. Ivanov D., Sokolov B., Chen W., Dolgui A., Werner F., Potryasaev S. A control approach to scheduling flexibly configurable jobs with dynamic structural-logical constraints // IISE Transactions. 2021. Vol. 53, N 1. P. 21—38.
8. Микони С. В., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. Монография. М.: Наука, 2018. 410 с.
9. Соколов Б. В., Захаров В. В., Назаров Д. И. Совместное оперативное планирование измерительных и вычислительных операций в киберфизических системах // Научное приборостроение. 2020. Т. 3, № 3. С. 49—62.
10. Sokolov B. V., Zakharov V. V., Krylov A. V., Salukhov V. I. Models and Algorithms for Planning and Scheduling of Complex Objects Functioning and Modernization // Proc. of the Fifth Intern. Sci. Conf. “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI’21). ITI 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 330. Springer, Cham, 2021.
11. Кузин Е. И., Кузин В. Е. Создание интегрированной системы поддержки жизненного цикла изделия // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. № 2(50).
12. Скрипкин К. Г. Экономическая эффективность информационных систем. М.: ДМК-Пресс, 2002. 256 с.
13. Захаров В. В., Ушаков В. А. Динамический подход к планированию модернизации автоматизированных систем управления производственными объектами // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 6. С. 585—588.
14. Sokolov B. V., Pavlov A. N., Potriasaev S., Zakharov V. V. Methodology and Technologies of the Complex Objects Proactive Intellectual Situational Management and Control in Emergencies // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1156. P. 234—243.
15. Захаров В. В. Динамическая интерпретация формального описания и решения задачи модернизации сложных объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 10. С. 167—172.
16. [Электронный ресурс]: <<https://litsam.ru>>.
17. Зеленцов В. А., Павлов А. Н. Многокритериальный анализ влияния отдельных элементов на работоспособность сложной системы // Информационно-управляющие системы. 2010. № 6. С. 7—12.
18. Крылов И. А., Черноусько Ф. Л. Алгоритм метода последовательных приближений для задач оптимального управления // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. 1972. Т. 12, № 1. С. 14—34.
19. Болтянский В. Г. Метод локальных сечений в теории оптимальных процессов // Дифференциальные уравнения. 1968. Т. 4, № 12. С. 2166—2183.
20. Соколов Б. В., Калинин В. Н. Динамическая модель и алгоритм оптимального планирования комплекса работ с запретами на прерывание // Автоматика и телемеханика. 1987. № 1. С. 106—114.
21. Морозов В. П., Дымарский Я. С. Элементы теории управления ГАП. Математическое обеспечение. Л.: Машиностроение, 1984. 333 с.

Сведения об авторе

Валерий Вячеславович Захаров

— Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; мл. научный сотрудник; E-mail: valeriov@yandex.ru

Поступила в редакцию
22.09.2021 г.

Ссылка для цитирования: Захаров В. В. Результаты комплексного планирования процессов функционирования и модернизации корпоративных информационных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 12. С. 965—971.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF INTEGRATED PLANNING OF CORPORATE INFORMATION SYSTEMS FUNCTIONING AND MODERNIZATION

V. V. Zakharov

St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, 199178, St. Petersburg, Russia
E-mail: valeriov@yandex.ru

Results of a study in development of "reference" programs for coordinated functioning and modernization of modern corporate information systems of an industrial enterprise warehouse subsystem of based on the V. G. Boltyansky method of local cross sections and the fuzzy-possibilistic approach, are analyzed. It is shown that with the use of developed special model-algorithmic software, it is possible to account simultaneously for both the dynamics of the main spatial-temporal, technological, technical and organizational constraints, and the expert knowledge associated with the specified stage of the life cycle of a complex object under consideration. It is noted that the work continues previously performed research.

Keywords: modernization planning, complex modeling, corporate information systems, digital transformation

REFERENCES

1. Ivanov D., Sokolov B., Evelio A.D.R. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 2014, no. 1(1), pp. 18–26.
2. Zakharov V.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2020, no. 11(63), pp. 975–984. (in Russ.)
3. Potryasaev S.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2018, no. 11(61), pp. 939–946. (in Russ.)
4. Anichkin A.S., Semenov V.A. *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS (Proceedings of ISP RAS)*, 2014, no. 3(26), pp. 5–50, [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2014-26\(3\)-1](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2014-26(3)-1). (in Russ.)
5. Semenkina O.E., Popov E.A. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*, 2019, no. 3(126). (in Russ.)
6. Popov V.D., Spesivtsev A.V., Sukhoparov A.I., Spesivtsev V.A. *2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, 2017, pp. 203–206.
7. Ivanov D., Sokolov B., Chen W., Dolgui A., Werner F., Potryasaev S. *IISE Transactions*, 2021, no. 1(53), pp. 21–38.
8. Mikoni S.V., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Kvalimetriya modeley i polimodel'nykh kompleksov (Qualimetry of Models and Polymodel Complexes)*, Moscow, 2018, 410 p. (in Russ.)
9. Sokolov B.V., Zakharov V.V., Nazarov D.I. *Nauchnoe Priborostroenie (Journal)*, 2020, no. 3(3), pp. 49–62. (in Russ.)
10. Sokolov B.V., Zakharov V.V., Krylov A.V., Salukhov V.I. *Proceedings of the Fifth International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'21)*. IITI 2021, Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 330. Springer, Cham.
11. Kuzin E.I., Kuzin V.E. *Engineering Journal: Science and Innovation*, 2016, no. 2(50). (in Russ.)
12. Skripkin K.G. *Ekonomicheskaya effektivnost' informatsionnykh system (Economic Efficiency of Information Systems)*, Moscow, 2002, 256 p. (in Russ.)
13. Zakharov V.V., Ushakov V.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2019, no. 6(62), pp. 585–588. (in Russ.)
14. Sokolov B.V., Pavlov, A.N., Potryasaev S., Zakharov V.V. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, vol. 1156, pp. 234–243.
15. Zakharov V.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2019, no. 10(62), pp. 167–172. (in Russ.)
16. <https://litsam.ru>. (in Russ.)
17. Zelentsov V.A., Pavlov A.N. *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy*, 2010, no. 6, pp. 7–12. (in Russ.)
18. Krylov I.A., Chernous'ko F.L. *Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki*, 1972, no. 1(12), pp. 14–34. (in Russ.)
19. Boltyanskiy V.G. *Differentsial'nyye uravneniya*, 1968, no. 12(4), pp. 2166–2183. (in Russ.)
20. Sokolov B.V., Kalinin V.N. *Automation and Remote Control*, 1987, no. 1, pp. 106–114. (in Russ.)
21. Morozov V.P., Dymarskiy Ya.S. *Elementy teorii upravleniya GAP. Matematicheskoye obespecheniye (Elements of the Theory of GAP Control. Mathematical Software)*, Leningrad, 1984, 333 p. (in Russ.)

Data on author

Valerii V. Zakharov — St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Junior Researcher;
E-mail: valeriov@yandex.ru

For citation: Zakharov V. V. Analysis of the results of integrated planning of corporate information systems functioning and modernization. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 12. P. 965–971 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-12-965-971