

УДК 004

А. К. Петрова, Н. В. Лашманова, К. И. Аксаров
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Планирование оптимизационного эксперимента для оценки риска проектов автоматизации ООО «Газпром трансгаз Уфа»

Сформулирована необходимость и обоснован выбор метода планирования экспериментов для постановки и решения оптимизационных задач при внедрении проектов автоматизации газораспределительной отрасли, выявлены приоритетные в процессе цифровой трансформации ресурсные факторы, разработаны основные положения ресурсного подхода к оценке риска реализации проекта автоматизации технологического процесса учета расхода газа. Представлена зависимость риска проекта автоматизации от характеристик кадровых, информационных, материально-технических и финансовых ресурсов; построены планы полного факторного эксперимента, рассчитаны и статистически обработаны коэффициенты уравнения регрессии, определяющие зависимость риска проектов автоматизации от наиболее значимых характеристик технологических процессов.

Проекты автоматизации, газораспределение, кадровые, финансовые, информационные, материально-технические ресурсы, метрики ресурсов, информационно-алгоритмическое обеспечение, риск, эффективность, полный факторный эксперимент, уравнение регрессии

Обеспечение энергией – основа устойчивого развития экономики в России, и национальная программа Правительства «Цифровая экономика Российской Федерации» [1], утвержденная Распоряжением № 1632-р от 28 июля 2017 г., призвана активизировать и свести в единую систему процессы цифровой трансформации в нашей стране в том числе и в газовой промышленности. При этом цифровая трансформация коснется и проектов автоматизации.

Для газовой отрасли газораспределительная станция (ГРС) – это основной объект в системе магистральных газопроводов, функцией которого является понижение давления газа в трубопроводе и его подготовка для потребителя. Учет расхода газа на ГРС – один из основных автоматизируемых технологических процессов. Оценка результатов внедрения проектов автоматизации показывает, что значительное число предприятий, в том числе газовой отрасли, встречается на этом пути с барьерами, которые необходимо связать с ресурсными факторами: финансовым, материально-техническим и информационным обеспечением, а также с человеческим ресурсом: уровнем компетентности, вовлеченности в процессы преобразований, ответственности за безопасность и др.

Понятно, что выбор наиболее эффективного проекта автоматизации или совершенствования существующего решения, как и в целом управление автоматизацией технологических процессов учета расхода газа, – достаточно сложный вид хозяйственной деятельности и требует особого подхода к ее организации. В таких условиях принятие эффективных управленческих решений в определении факторов производства сопряжено со значительными рисками. Важной задачей управления ГРС является повышение эффективности и безопасности работы всей технологической цепочки, а также получение достоверной и оперативной технической, экономической и организационной информации на всех этапах функционирования основных технологических процессов, включая управление рисками проектов автоматизации.

Таким образом, вследствие значимости газовой отрасли для экономики РФ в составе АСУ (автоматизированной системы управления) ГРС целесообразно разработать блок поддержки принятия управленческих решений, позволяющий оценить существующие и, при необходимости, новые проекты автоматизации технологического процесса учета расхода газа на основе оценки влияющих на данный процесс характеристик кадровых, информацион-

ных, материально-технических и финансовых ресурсов.

Риски реализации проектов автоматизации можно дифференцировать на внешние и внутренние, которые имеют разнонаправленную динамику при переходе с одной ступени цифровой трансформации на другую. С ростом интенсивности автоматизации возрастает сложность процессов, количество влияющих факторов и, как следствие, инвестируемых финансовых и других ресурсов, включая расходы на повышение квалификации персонала. Также увеличиваются сроки реализации, а значит, степень неопределенности процессов, т. е. растут внутренние риски реализуемости проектов автоматизации. В то же время, с усилением автоматизации технологических процессов растет конкурентоспособность предприятий газораспределительной отрасли, вследствие чего может снижаться и влияние внешних факторов.

В подобных условиях при осуществлении проекта автоматизации таких сложных объектов, как технологические процессы предприятий газораспределительной отрасли, возрастает важность инструментов оценки рисков. Ввиду множественности количества переменных – характеристик ресурсных факторов, целесообразно интегрировать данный ресурсный подход с методами оценки рисков, планирования эксперимента, нечеткой логики. Также, несмотря на многообразие методов и инструментов оценки риска, необходимо искать и новые адаптированные подходы к решению подобных задач.

Одним из таких подходов может стать метод планирования эксперимента с целью постановки и решения оптимизационных задач определения наилучшего сочетания ресурсов и достижения высоких экономических результатов при внедрении инноваций. Математическую модель оптимизационной задачи, состоящую из целевой функции, системы ограничений и граничных условий, можно записать в виде [2]

$$F(x_1, x_2, \dots, x_k) \rightarrow \min, x \geq 0,$$

где $F(x_1, x_2, \dots, x_k)$ – целевая функция, определяющая риск реализуемости цифровых трансформаций технологических процессов ПП, x_i – входные аргументы процесса.

Расходы на проведение экспериментов можно значительно сократить, если на этапе оптимизации параметров использовать эксперименталь-

ную факторную математическую модель на основе вычислительных экспериментов. Задача определения параметров решается методами регрессионного и корреляционного анализа.

Выделяют следующие этапы построения математической модели вычислительного эксперимента [3]–[6]:

- сбор и анализ априорной информации;
- выбор факторов, выходных переменных и области экспериментирования;
- выбор математической модели, с помощью которой будут представляться экспериментальные данные;
- выбор критерия оптимальности и плана вычислительного эксперимента;
- определение метода анализа данных;
- проведение эксперимента;
- проверка статистических предпосылок для полученных экспериментальных данных;
- обработка результатов;
- интерпретация и рекомендации [3]–[6].

Планируя эксперимент, необходимо определить, какими управляемыми независимыми переменными, или факторами, определяется состояние объекта. При этом сначала выявляют факторы, существенно влияющие на выходные переменные: составляется максимально возможный полный список факторов, как количественных, так и качественных, далее происходит отбраковка несущественных или мало влияющих факторов.

Система оценок реализации проекта автоматизированного управления процессом учета расхода природного газа состоит из элементов нескольких типов, которые можно определить как характеристики основных ресурсов процесса: материально-технических (средства измерения, оборудование), информационных (математическое и методическое обеспечение), кадровых (компетенции обслуживающего персонала), финансовых (экономическая эффективность, стоимость внедрения и обслуживания). Указанные характеристики должны учитывать особенности добывающей скважины, природного газа и внешние условия. Целью такой системы служит обеспечение баланса поставленного и потребленного объемов газа при минимальных стоимостных затратах. Элементы системы связаны между собой отношениями, характеризующимися некоторыми переменными и параметрами. На рис. 1 представлена обобщенная визуализация этого набора ресурсов.



Рис. 1

Статистическая обработка данных экспертных оценок показала зависимость фактора информационно-алгоритмического обеспечения процессов от характеристик метрик других ресурсов с коэффициентами корреляции: для $K_{X_1} = 0.77$, $K_{X_3} = 0.55$, $K_{X_4} = 0.28$ соответственно.

Поэтому фактор информационно-алгоритмического обеспечения процессов может также рассматриваться в качестве выходного параметра эксперимента с тремя соответствующими метриками в качестве входных факторов. Эта зависимость и создает основу для дальнейшей разработки алгоритма оценки проекта автоматизации. План трехфакторно-

го двухуровневого эксперимента представлен в табл. 1, где X_0 – вспомогательная переменная.

В качестве отклика (выходного параметра) оптимизационной задачи при внедрении проекта автоматизации газотранспортной системы принято значение риска его реализуемости, факторами являются ресурсные показатели, при этом технологические характеристики учтены в условиях эксперимента. На основе анализа литературных источников и экспертной оценки руководителей некоторых инженерных и производственных служб ООО «Газпром трансгаз Уфа», осуществляющих или уже осуществивших проекты автоматизации или модерни-

Таблица 1

Номер эксперимента	Факторы				Параметр Y – информационный ресурс
	X_0	X_1 – кадровый ресурс	X_3 – финансовый ресурс	X_4 – материально-технический ресурс	
1	1	1	1	1	1
2	1	–1	1	1	0
3	1	–1	–1	1	–0.5
4	1	1	–1	1	0.2
5	1	1	1	–1	0.5
6	1	–1	1	–1	–0.2
7	1	1	–1	–1	0.1
8	1	–1	–1	–1	–1

Таблица 2

Номер эксперимента	Факторы					Параметр Y – риск проекта автоматизации
	X_0	X_1 – кадровый ресурс	X_2 – информационный ресурс	X_3 – финансовый ресурс	X_4 – материально-технический ресурс	
1	1	1	1	1	1	-1
2	1	-1	1	1	1	0.8
3	1	-1	-1	1	1	0.9
4	1	1	-1	1	1	0.8
5	1	1	1	-1	1	0.65
6	1	-1	1	-1	1	0.9
7	1	1	-1	-1	1	0.9
8	1	-1	-1	-1	1	0.95
9	1	1	1	1	-1	0.5
10	1	-1	1	1	-1	0.75
11	1	1	-1	1	-1	0.75
12	1	-1	-1	1	-1	0.85
13	1	1	1	-1	-1	0.75
14	1	-1	1	-1	-1	0.9
15	1	1	-1	-1	-1	0.9
16	1	-1	-1	-1	-1	1

зации АСУ, были определены уровни и интервалы варьирования характеристик ресурсов, соответствующих положительному и отрицательному их влиянию на эффективность проекта автоматизации, после чего построен план полного четырехфакторного эксперимента, представленный в табл. 2.

В результате проведения вычислительного эксперимента с участием экспертов газовой отрасли было получено достаточно формализованное уравнение регрессии этой стадии алгоритма:

$$Y = 0.7 - 0.18X_1 - 0.18X_2 - 0.16X_3 - 0.1X_4.$$

При этом расчетное значение критерия Кохрена проверки однородности дисперсий $G_p = 0.28$, значение этого критерия из таблицы G -распределения $G_{кр} = 0.33$ ($q = 0.05, f_1 = 2, f_2 = 16$) [7], где q – уровень значимости, f_1, f_2 – числа степеней свободы: $f_1 = m - 1$, m – число параллельных опытов (здесь – экспертных оценок одного сочетания факторов, $m = 3$), $f_2 = N$ – число опытов, $N = 2^n = 2^4 = 16$, $n = 4$ – число факторов; $G_p < G_{кр}$, дисперсии однородны, опыт воспроизводим.

Расчетное значение критерия Стьюдента t для каждого фактора соответственно: $t_1 = 6.23$, $t_2 = 4.71$, $t_3 = 5.32$, $t_4 = 5.68$.

Значение этого критерия из таблицы t -распределения $t_{кр} = 2.042$ для $f = 32$, $q = 0.5$ [7], где q – уровень значимости, f – число степеней свободы, $f = N(m - 1) = 16 \cdot 2 = 32$, $t_i > t_{кр}$, коэф-

фициенты значимы, расчетное значение критерия Фишера $F_p = 0.78$.

Значение этого критерия из таблицы F -распределения $F_{кр} = 1.86$ ($q = 0.05, f = 32, f_3 = 11$) [7], где q – уровень значимости, f, f_3 – числа степеней свободы: $f_3 = N - n - 1 = 16 - 4 - 1 = 11$; $F_p < F_{кр}$. Таким образом, формализованная модель адекватна.

Следует отметить, что в дальнейшем необходимо рассмотреть и выявленное ранее взаимное влияние факторов информационно-алгоритмического обеспечения процессов X_2 с характеристиками других факторов.

В результате проведения вычислительного эксперимента были получены следующие зависимости риска реализуемости проектов автоматизации (риск ПА) от ресурсных факторов X_1 – X_4 , представленные на рис. 2.

Как видно из графиков, наиболее значимые факторы риска реализуемости проектов автоматизации – это уровень информационно-алгоритмического обеспечения и кадровых ресурсов, определяющие и качество других ресурсов. Таким образом, для эффективности выбора проекта модернизации необходимо на постоянной основе подержать выявленные наиболее важные характеристики ресурсов на достаточных уровнях, и этот процесс целесообразно автоматизировать. Этапы автоматизации управляющих процессов ГРС представлены на рис. 3, где АСЭО – автоматизированная система экспертной оценки, АСУТП – автоматизированная система управления технологиче-

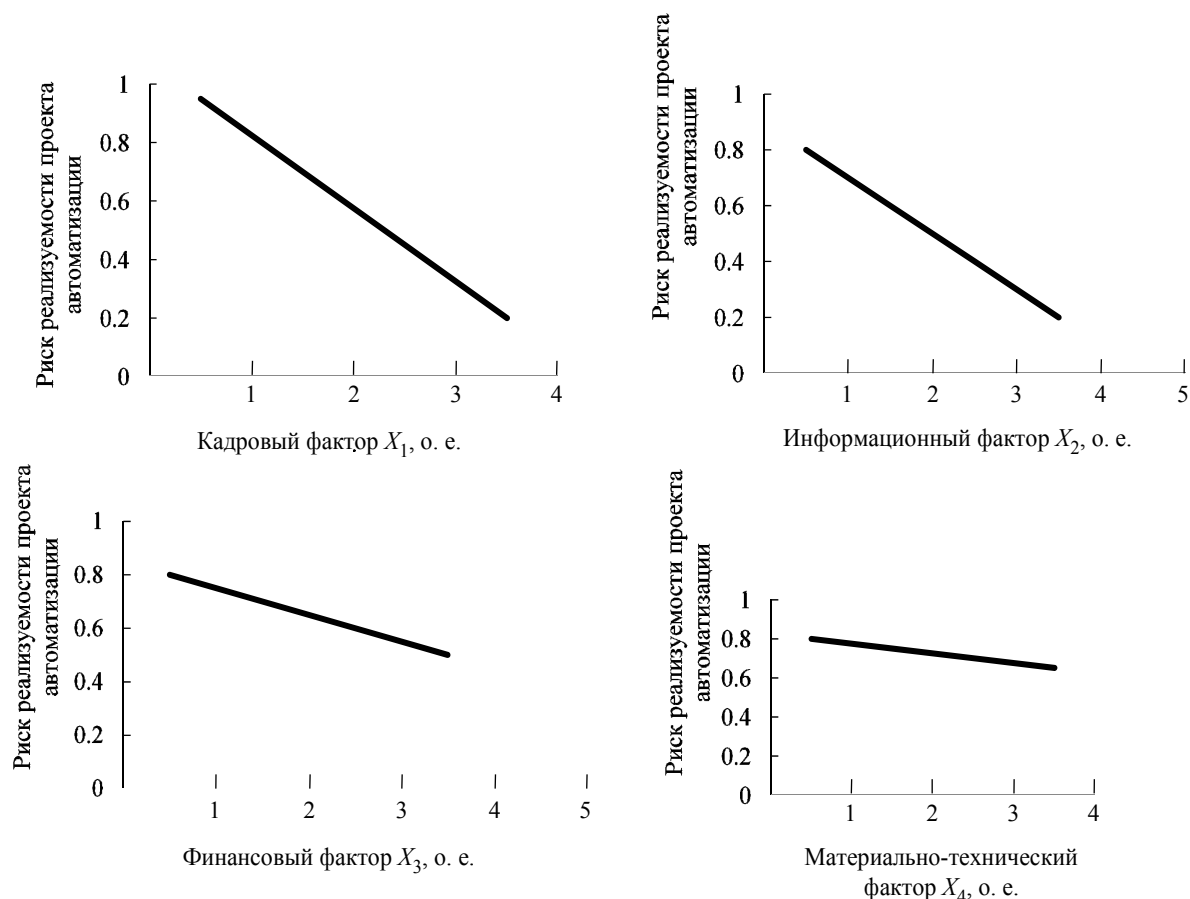


Рис. 2



Рис. 3

скими процессами, АСУП – автоматизированная система управления предприятием.

В настоящее время в ООО «Газпром трансгаз Уфа» в большой степени автоматизированы технологические процессы на основе нормативных документов, благодаря чему выполняются производственные операции, осуществляется контроль и совершенствуются стратегии управления. При этом следует отметить, что задачи управления производством автоматизированы в меньшей степени. В их число входят вопросы оптимизации и контроля производственных режимов, контроллинга промышленных активов, надежности оборудования, безопасности персонала, влияния на экологию и др. Для повышения эффективности внед-

рения более сложных проектов автоматизации необходимо разработать соответствующие модели управления всеми ресурсами предприятия.

Подходы к оценке проектов автоматизации и модернизации газораспределительной отрасли на основе планирования оптимизационного эксперимента дают возможность определить наиболее адекватный баланс ресурсов для достижения экономической эффективности реализации проектов. Такой подход может стать одним из возможных методов, позволяющих определить условия готовности автоматизированных систем управления предприятий газораспределительной отрасли к цифровой трансформации при внедрении инновационных технологий [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», распоряжение Правительства № 1632-р от 28 июля 2017 г.
2. Монтгомери Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных: пер. с англ. Л.: Судостроение, 1980.
3. ГОСТ 24026–80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1991.
4. Григорьев Ю. Д. Методы оптимального планирования эксперимента: линейные модели. СПб.: Лань, 2015.
5. Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. М.: Высш. шк., 1978.
6. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976.
7. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов: учеб. для вузов / В. Г. Блохин, О. П. Глудких, А. И. Гуров, Н. А. Ханин; под ред. О. П. Глудких. М.: Радио и связь, 1997.
8. ГОСТ Р 8.741–2011. Объем природного газа. Общие требования к методикам измерений. М.: Изд-во стандартов, 2013.

A. K. Petrova, N. V. Lashmanova, K. I. Aksarov
Saint Petersburg Electrotechnical University

PLANNING AN OPTIMIZATION EXPERIMENT FOR AUTOMATION PROJECTS' RISK ASSESSMENT OF «GAZPROM TRANSGAZ UFA» LLC

Discusses gas distribution automation projects, formulates the need and justifies the choice of experiment planning method for setting and solving optimization problems in order to determine the best combination of resources to achieve high economic results when implementing automation. The priority value in the process of digital transformation of human and information resources is revealed. The dependence of the factor of informational and algorithmic support of the processes on the characteristics of human, material, technical and financial resources is presented; plans for full factorial experiments are constructed, coefficients of the regression equation are calculated and statistically processed, which determine the dependence of the risk of the feasibility of automation projects on the most significant process metrics.

Automation projects, gas distribution industry, human, financial, informational, material and technical resources, resource metrics, information-algorithmic support, risk, efficiency, full factorial experiment, regression equation