

DOI 10.37539/2949-1991.2024.2.13.006
УДК 519.237.5

Бредихина Наталья Владимировна,
Доцент кафедры экспертизы и управления
недвижимостью, горного дела,
Юго-Западный государственный университет
Bredikhina Natalya Vladimirovna,
Assoc. Prof. of the Dept. of the Department
of Real Estate Expertise and Management,
Southwest State University

Фурсов Илья Вадимович,
Преподаватель Строительно-политехнического колледжа,
Воронежский государственный технический университет
Fursov Ilya Vadimovich,
Teacher of the Construction and Polytechnic College,
Voronezh State Technical University

Филоненко Григорий Эдуардович,
Студент группы аММФ-22,
Воронежский государственный технический университет
Filonenko Grigory Eduardovich
student gr. aMMF-22,
Voronezh State Technical University

**АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СТОИМОСТЬЮ
СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ НА БАЗЕ
ГИБРИДНОГО ПЛАН-ФАКТНОГО И РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА
С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
ALGORITHM FOR MANAGING THE COST OF CONSTRUCTION
AND INSTALLATION WORKS BASED ON HYBRID PLAN-ACTUAL AND
REGRESSION ANALYSIS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

Аннотация: Применение план-фактного анализа, выполняемого экономическими и сметными отделами строительных предприятий, недостаточно для эффективного принятия решений. Требуется внедрение регрессионного анализа на базе технологий информационного моделирования и нейросетей.

Abstract: The use of plan-fact analysis performed by economic and budget departments of construction enterprises is not enough for effective decision-making. It is required to introduce regression analysis based on the information modeling technologies and neural networks.

Ключевые слова: бюджетирование, план-фактный анализ, регрессионный анализ, строительно-монтажные работы, искусственный интеллект.

Keywords: budgeting, plan-factual analysis, regression analysis, construction and installation work, artificial intelligence.

Одним из самых распространенных способов управления отклонения в строительстве является план-фактный анализ – сравнение плановых и фактиче-ских показателей по предприятию в аналитических разрезах за разные периоды времени [5]. Однако хотя он и



выполняется экономическими отделами, но зачастую не имеет дальнейшего развития. Именно для этого имеет смысл внедрить оперативную систему контролинга на базе искусственного интеллекта (ИИ), которая позволяла бы проводить ежедневный мониторинг изменения стоимости возводимых объектов, определять отклонения в планах по сравнению с реальными показателями [1, 4].

Алгоритм план-фактного анализа с применением ИИ в самом простом общем виде можно представить следующим образом (рис. 1).

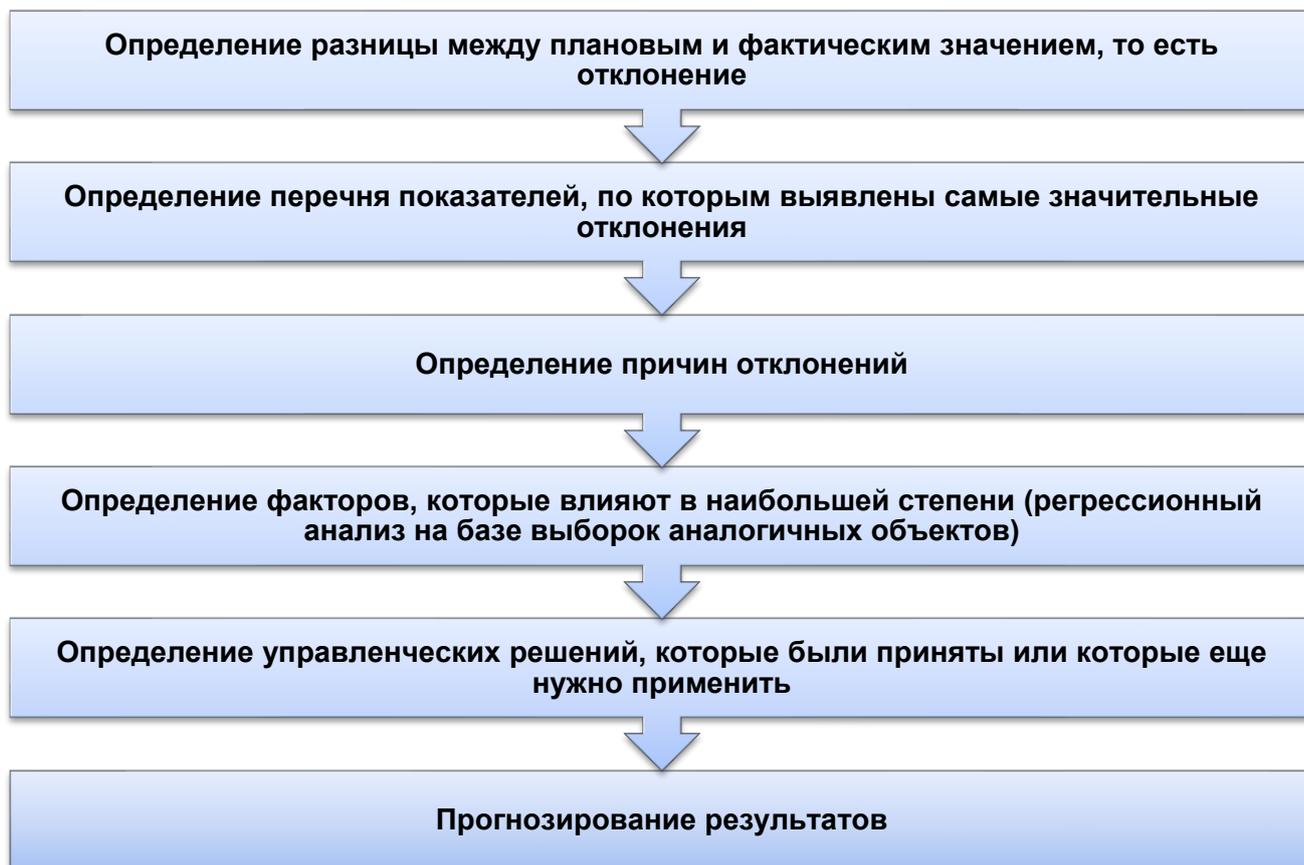


Рис. 1. Общий алгоритм план-фактного анализа

Наглядно представим логику машинного алгоритма. В качестве конкретного примера исследуем влияние повышения цен на строительный материал и рост ФОТ на СМР по огнезащитной пропитке деревянных конструкций мансард и элементов кровли составом «КЛОД-01».

Для этого нейросеть должна прежде всего сделать выборку аналогичных строительных объектов, где проводились подобные СМР, и провести план-фактный анализ по этим объектам (таб. 1). Выявлены превышения сметной стоимости по всем объектам. Причем нейросеть определяет в качестве наиболее значительных отклонений по факторам влияния рост цен на строительные материалы и увеличение фонда оплаты труда строительных рабочих. Именно эти факторы закладываются в дальнейшую модель, поскольку нужно провести регрессионный анализ, который позволяет моделировать пространственные и при-чинно-следственные связи между различными факторами.



Табл.1.

Плановые (сметные) и фактические показатели стоимости обустройства кровли за период

№ п./п.	Огнезащитная пропитка деревянных конструкций мансард и элементов кровли составом "КЛОД-01" (объекты аналогичны)	Плановая стоимость, руб.	Факт текущий, руб.	Отклонение (перерасход сметы), руб.	Стоимость закупки пропитки у разных поставщиков	Оплата труда рабочих (ФОТ по объектам), руб.
1	2		3		4	5
1	на объекте 1	100 927,86	110 927,86	-10 000,00	8190	4 500,00
2	на объекте 2	155 000,00	170 000,00	-15 000,00	9535	7 000,00
3	на объекте 3	83 927,86	95 927,86	-12 000,00	6190	6 000,00
4	на объекте 4	117 000,00	130 000,00	-13 000,00	10000	7 322,00
5	на объекте 5	92 927,86	102 927,86	-10 000,00	8535	5 000,00
6	на объекте 6	133 000,00	140 000,00	-7 000,00	6923	15 000,00
7	на объекте 7	104 427,86	112 427,86	-8 000,00	9900	3 494,00
8	на объекте 8	108 927,86	117 927,86	-9 000,00	9690	5 673,00
9	на объекте 9	190 000,00	200 000,00	-10 000,00	9433	12 000,00
10	на объекте 10	144 000,00	150 000,00	-6 000,00	9177	7 680,00

Регрессионный анализ заключается в определении аналитического выражения связи, в котором изменение одной величины (называемой зависимой переменной, или результативным признаком), обусловлено влиянием одной или нескольких независимых величин (факторных признаков) [2].

В случае, когда между случайными величинами X и Y существует достаточно тесная линейная статистическая зависимость, ее можно аппроксимировать уравнением линейной регрессии Y на X:

$$\bar{y}_x = a_0 + a_1x, (2)$$

где a_0 и a_1 – коэффициенты линейной регрессии; x – независимая переменная (фактор, предиктор); \bar{y}_x – зависимая переменная (результат, отклик).

Табл .2.

Результаты линейного регрессионного анализа для рассматриваемого случая

Переменные	B (коэффициенты уравнения регрессии)	Std. Err. of B (стандартные ошибки для B-коэффициентов)	t (7)	p-level
1	2	3	4	5
Intercept (свободный член)	-47 644,07	53 971,82	-0,88	0,41
X1	14,61	5,44	2,68	0,03
X2	7,16	2,00	3,59	0,01



Линейная регрессионная модель в нашем случае (таб.2) имеет следующий вид:

$$Y = -47644,07 + 14,61 \cdot X_1 + 7,16 \cdot X_2, \text{ где}$$

Y – данные о фактической стоимости СМР по обработке деревянных конструкций огнезащитной пропиткой по группе аналогичных объектов, руб.;

X_1 – стоимость закупки пропитки у разных поставщиков;

X_2 – оплаты труда рабочих (ФОТ по объектам), руб.

Полученные коэффициенты регрессии позволяют сделать следующие выводы:

- с увеличением закупочной цены пропитки на 1 руб. фактическая стоимость СМР увеличивается на 14,61руб.;

- с увеличением оплаты труда рабочих на 1 руб. фактическая стоимость СМР увеличивается на 7,16руб.

Под влиянием прочих факторов, не включенных в модель, фактическая стоимость СМР по обработке деревянных конструкций огнезащитной пропиткой в среднем снижается на 47644,07 руб. Данное моделирование показывает, что на формирование прогнозной сметной стоимости в наибольшей мере влияет изменение закупочных цен на строительный материал. В 2 раза менее, чем стоимость сырья, но все же значительно влияет на конечную стоимость СМР и оплата труда рабочих.

Для оценки регрессионных уравнений применяют различные критерии значимости, в том числе: p -критерий, t -критерий Стьюдента и F -критерий Фишера. p -критерий – вероятность того, что будет сделан неверный вывод о взаимосвязи переменных. Если $p = 0,05$, то на каждые 100 экспериментов, где наблюдалась взаимосвязь, 95 их них действительно была, а 5 – нет [3].

Если $\alpha = 0,05$; $p \leq \alpha$, то уравнение и рассматриваемые критерии являются значимыми.

Расчетные значения p -критерия не больше принятого уровня значимости α , т.е. $p \leq 0,05$, что подтверждает вывод о значимости включенных в модель факторов.

t -критерий Стьюдента предназначен для определения вероятности того, чтобы проверить предположение, что средние значения двух выборок относятся к одной и той же совокупности [6].

В нашем случае расчетные значения t -критерия Стьюдента свидетельствуют о значимости включенных в модель факторов, так как для каждой переменной выполняется неравенство:

$$t_{\text{расч.}} > t_{\text{табл.}} [t_{\text{табл.}} (n-m-1; \alpha)].$$

где n – объем совокупности, т.е. число единиц наблюдения;

m – число факторов, переменных (т.е. количество x , включенных в модель);

α – уровень значимости.

$$t_{\text{расч.}} > t_{\text{табл.}} [t_{\text{табл.}} (10-2-1; 0,05) = t_{\text{табл.}} (7; 0,05) = 2,36].$$

Для оценки значимости уравнения регрессии в целом используют F -критерий Фишера:

$$F = R^2 / (1 - R^2) \times m / (n - m - 1), (3)$$

где m – число факторов,

n – число элементов выборочной совокупности.

В дисперсионном анализе критерий Фишера позволяет оценивать значимость факторов и их взаимодействия. Критерий Фишера основан на дополнительных предположениях о независимости и нормальности выборок данных [5].



Табл.3.

Критерии адекватности линейной регрессионной модели

Показатель	Value (Значение показателя)
1	2
Multiple R (множественный коэффициент корреляции)	0,834
Multiple R (множественный коэффициент детерминации)	0,696
Adjusted R (скорректированный множественный коэффициент детерминации)	0,609
F	7,996
p	0,000
Std.Err. of Estimate (стандартная ошибка)	20 456,195

Множественный коэффициент корреляции, равный 0,834, свидетельствует о наличии сильной линейной связи между величиной стоимости СМР и включенными в модель факторами (таб. 3).

Множественный коэффициент детерминации позволяет сделать вывод о том, что вариация значений стоимости СМР на 69,6 % объясняется вариацией включенных в модель факторов (т.е. вариацией закупочной стоимости пропитки и фонда оплаты труда рабочих), и только на 30,4 % – вариацией прочих факторов, не учтенных моделью, что является достаточно высоким показателем точности выбранных критериев.

F-критерий свидетельствует об адекватности построенной модели, т.к. $F_{расч.} > F_{табл.}$ [$F_{табл.} (2;7;0,05) = 4,74$].

Расчетные значения p-критерия не больше принятого уровня значимости α , т.е. $p \leq 0,05$, что также подтверждает вывод о высоком качестве построенной модели.

Разброс стандартных остатков небольшой (таб. 5), с достаточно равномерными положительными и отрицательными значениями. Регрессионная модель пригодна для оценки факторов, влияющих на стоимость выбранного вида СМР. Дисперсия предсказанных и фактических значений также невелика, отклонения невелики (рис. 2). Далее искусственный интеллект делает выводы о причинах отклонений и степени влияния различных факторов. На основе результатов данной модели предлагаются оптимальные варианты управленческих решений.

Табл.5.

Анализ остатков и предсказанных значений

№ п./п.	Observed – Value (фактические значения Y)	Predicted – Value (предсказанные значения Y)	Residual (остатки)	Standard – Residual (стандартизованные остатки)
1	2	3	4	5
1	110 927,86	104 198,75	6 729,11	0,37
2	170 000,00	141 745,29	28 254,71	1,57
3	95 927,86	85 729,08	10 198,78	0,57
4	130 000,00	150 842,64	-20 842,64	-1,16
5	102 927,86	112 818,07	-9 890,21	-0,55
6	140 000,00	160 882,70	-20 882,70	-1,16
7	112 427,86	121 970,30	-9 542,44	-0,53
8	117 927,86	134 506,67	-16 578,81	-0,92
9	200 000,00	176 059,87	23 940,13	1,33
10	150 000,00	141 385,92	8 614,08	0,48



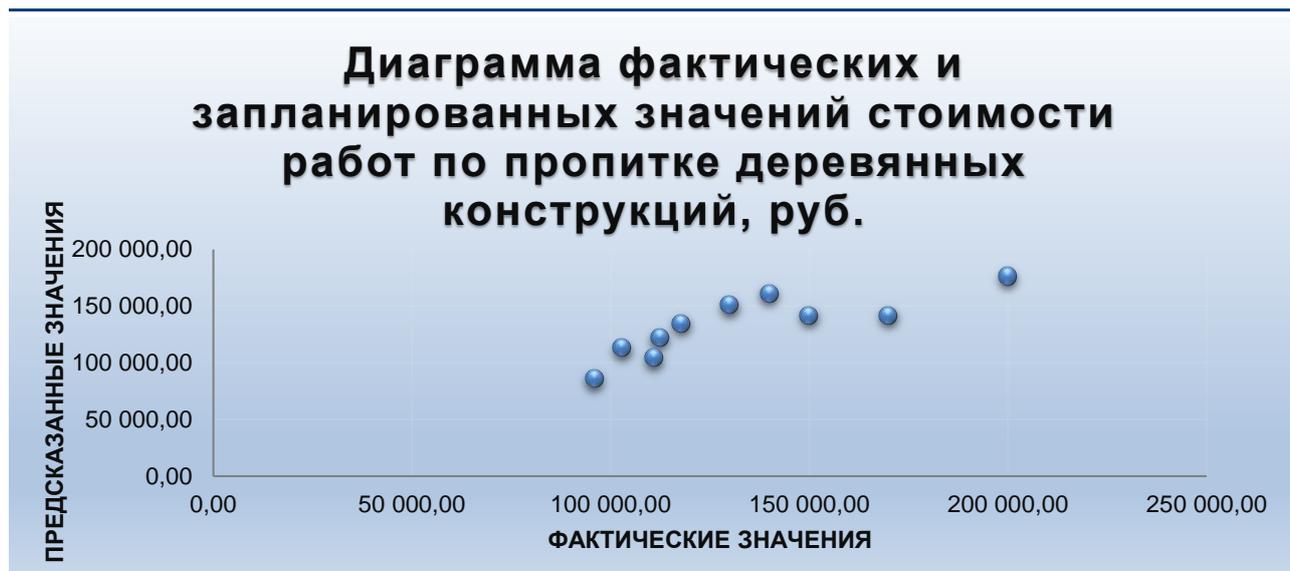


Рис. 2. Предсказанные и фактические значения стоимости СМР

Таким образом, приведенный случай является наглядным примером успешного применения гибридного план-фактного и регрессионного анализа, который может легко и регулярно проводиться с помощью средств автоматизации и программных продуктов.

Список литературы:

1. Акшов Э. А. Использование вычислительного проектирования и искусственного интеллекта при моделировании архитектурных объектов // АМІТ. 2023. №2 (63). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-vychislitelnogo-proektirovaniya-i-iskusstvennogo-intellekta-pri-modelirovanii-arhitekturnyh-obektov> (дата обращения: 14.02.2024).
2. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ: [пер. с англ.] / Н. Дрейпер, Г. Смит. – 3-е изд.. – Москва [и др.]: Диалектика, 2007. – 911 с.: ил.
3. Зотеев В.Е. Прикладной регрессионный анализ. Часть 1. Метод наименьших квадратов. Нелинейное оценивание. Классическая линейная регрессия: лабораторный практикум / В.Е. Зотеев – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – 101 с.
4. Каверин А.В., Морозова А. Р. Применение теории вероятности и математической статистики в строительстве // Естественные и математические науки в современном мире. 2015. №5 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-teorii-veroyatnosti-i-matematicheskoy-statistiki-v-stroitelstve> (дата обращения: 14.02.2024).
5. Лашманов А.Д., Методы и техники факторного анализа в строительстве // Скиф. 2019. №6 (34). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-tehniki-faktornogo-analiza-v-stroitelstve> (дата обращения: 14.02.2024).
6. Нейросети в строительной отрасли: применение, проблемы, перспективы [Электронный ресурс]. – URL: <https://neuralinsight.ru/nejroseti-v-stroitelnoj-otrasli/> (дата обращения: 14.02.2024).

