

Моделирование результирующих показателей сахаропроизводящего комплекса России

Громковский А. А. e-mail: aag68@bk.ru

Костылева Л. Н. e-mail: kostyleva12@yandex.ru

ФГКОУ ВПО ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

Аннотация. *В работе проведено исследование влияние основных технико-экономических факторов производства сахара в России на выход готовой продукции. Построена математическая модель количественного описания взаимосвязи показателей производства сахара. С целью определения причинно-следственных связей факторов и результата производства сахара проведена оценка значимости коэффициентов построенной модели. По результатам моделирования определен комплекс значимых технико-экономических факторов, существенно влияющих на формирование выхода сахара в производстве.*

Ключевые слова: *Моделирование, производство сахара, технико-экономические факторы производства, выход готовой продукции.*

Введение.

Одной из важных задач анализа функционирования производственной деятельности является задача исследования результирующих показателей производства. Подобные задачи целесообразно решать на основе построения математической модели, которая должна отображать сущность формирования результата производства под воздействием производственных факторов [1-3]. Такую модель можно простроить и проанализировать с применением методов корреляционно-регрессионного анализа [4, 5]. Подобные модели называются производственными функциями. Они могут количественно описывать не только экономические показатели, но и технологические [2, 4, 5]. Анализ такой модели позволяет не только построить количественное описание взаимосвязи результата производства и факторов, формирующих его, но и выявить причинно-следственную связь между комплексом существенных производственных факторов и результатом производства [2]. Такая причинно-следственная связь оценивается на основе проверки соответствующих гипотез о значимости параметров математической модели, описывающей количественную взаимосвязь.

1. Анализ корреляции между основными показателями производства сахара в России.

Для предприятий сахаропроизводящего комплекса Российской Федерации [1] основным результирующим показателем производства является выход товарного сахара V_x . При моделировании, согласно основным правилам регрессионного анализа, выход сахара как результирующий признак, обозначается Y . При осуществлении контроля производства сахара учитывают: среднесуточную производительность, X_1 , т; среднесуточную производительность, % от плановой X_2 ; дигестию (сахаристость) свеклы при приемке, X_3 , %; дигестию свеклы при сдаче, X_4 , %; сахаристость свекловичной стружки, X_5 , %; потери при хранении и транспортировке, X_6 , %; фактические потери сахара в производстве, X_7 , %; фактическое содержание сахара в мелассе, X_8 , %; фактический расход условного топлива, X_9 , %; фактический расход известкового камня, X_{10} , %.

Контролируемые производственные показатели оказывают влияние на формирование значения выхода сахара и рассматриваются как признаки-факторы регрессии.

На основе данных производственного учета всех указанных величин за сезон производства 2018-2019 года было взято 73 наблюдения по всем сахаропроизводящим предприятиям Российской Федерации. Для построения математической модели была сформирована матрица размером 73×11 , отражающая пространственный срез производственных величин за сезон.

Перед построением количественного описания взаимосвязи выхода сахара и влияющих на него производственных факторов необходимо исследовать корреляцию между данными показателями. Корреляция выхода сахара и образующих его факторов оценивалась по данным производственных отчетов сахарных заводов России [3]. В качестве количественной оценки корреляции использовался выборочный линейный коэффициент парной корреляции Пирсона [7]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

где x_i , y_i –наблюдения величин X и Y по данным производственных отчетов; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ – выборочные средние исследуемых величин.

При оценке влияния нескольких факторов X_j производства сахара на результирующий показатель Y оценку взаимосвязи между ними удобно представить в виде таблицы коэффициентов парной корреляции – корреляционной матрицы. Корреляционная матрица R для нескольких экономических величин имеет общий вид [6, 7]:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{yx1} & r_{yx2} & \dots & r_{yxm} \\ r_{yx1} & 1 & r_{x1x2} & \dots & r_{x1xm} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{yxm} & r_{x1xm} & r_{x2xm} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

2. Исследование значимости корреляции между показателями производства сахара в России.

После оценки корреляции выхода сахара с формирующими его факторами производства и коэффициентов межфакторной корреляции была проведена оценка значимости полученных величин [5, 6].

Статистическая значимость найденных коэффициентов корреляции оценивалась на основе проверки статистических гипотез. Основная выдвигаемая гипотеза – о незначимости коэффициента корреляции: $H_0 : r_{xy} = 0$, альтернативная гипотеза $H_1 : r_{xy} \neq 0$. Проверка выдвинутых гипотез осуществлялась с использованием t-статистика, -случайной величины, распределенной по закону Стьюдента при заданном уровне значимости α . Критическая область и область принятия гипотезы задавались на основе табличного значения статистики критерия Стьюдента $t_{табл}(\alpha, n - 2)$ для принятого уровня значимости α и числа степеней свободы $df = n - 2$, где n - объем исследуемой выборочной совокупности наблюдений показателей производства сахара по данным производственного учета.

Расчетное значение статистики критерия Стьюдента находилось по данным сформированной выборочной совокупности по формуле:

$$t_{расч} = r_{xy} \sqrt{\frac{n-1}{1-r_{xy}^2}} \quad (3)$$

Если для оцениваемого коэффициента корреляции $|t_{расч}| > \|t_{табл}\|$, то принимается альтернативная гипотеза, признается надежность полученной оценки на заданном уровне значимости. Если для исследуемого коэффициента корреляции $|t_{расч}| < \|t_{табл}\|$, то нет

оснований отвергнуть выдвинутую гипотезу, полученный коэффициент корреляции считается незначимым.

По результатам проверки гипотез о значимости величины корреляции показателей производства сахара в России на уровне значимости 5% ($\alpha = 0,05$) все оценки коэффициентов корреляции продемонстрировали значимое, неслучайное отличие от нуля.

3. Определение основных групп факторов производства сахара для моделирования выхода сахара.

Полагая показатель выхода готовой продукции Y зависимой результирующей переменной регрессионной модели, описывающей взаимосвязь показателей производства сахара, по данным матрицы коэффициентов корреляции можно оценить тесноту и значимость взаимосвязи между этой величиной и остальными производственными показателями. При этом следует учитывать корреляцию между факторами производства сахара X_j для устранения так называемого эффекта коллинеарности. При проявлении этого эффекта несколько взаимосвязанных друг с другом факторов производства дублируют свой вклад влияния на результирующий производственный показатель. В модели регрессии следует учитывать только один из дублирующих друг друга факторов производства [6].

Согласно экономической сути исследуемых показателей производства сахара целесообразно разделить их на несколько групп.

Показатели производительности сахарных заводов можно отнести к первой группе факторов производства – среднесуточная производительность, X_1 , т; среднесуточная производительность, % от плановой X_2 . Коэффициенты корреляции этих показателей с выходом готовой продукции составили $r_{yx1} = -0,08$; $r_{yx2} = 0,33$. Среднесуточная производительность в % от плановой более тесно связана с выходом сахара. Производственные факторы неколлинеарны, коэффициент межфакторной корреляции $r_{x1x2} = 0,16$. Целесообразно включить каждый из них в формируемую модель и выбрать наилучший.

Вторая группа факторов производства сахара – показатели сырья для производства - дигестия свеклы при приемке, X_3 , %; дигестия свеклы при сдаче, X_4 , %; сахаристость свекловичной стружки, X_5 , %. Все эти величины указывают на содержание сахара в сырье для производства. Коэффициенты корреляции этих факторов с выходом товарного сахара: $r_{yx3} = 0,79$; $r_{yx4} = 0,81$; $r_{yx5} = 0,85$. Показатели сахаристости свеклы демонстрируют сильную связь с результирующей переменной модели. Коэффициенты межфакторной корреляции составили $r_{x3x4} = 0,99$; $r_{x3x5} = 0,98$; $r_{x4x5} = 0,99$, следовательно, данные факторы коллинеарны. Имеет

смысл включить в модель один из показателей сахаристости свеклы, так как эти величины дублируют друг друга при количественном описании взаимосвязи.

Третья группа факторов производства сахара – величины потерь при производстве сахара. Это потери при хранении и транспортировке, X_6 , %; фактические потери сахара в производстве, X_7 , %; фактическое содержание сахара в мелассе, X_8 , %. Коэффициенты корреляции этих факторов с выходом сахара составили $r_{yx6} = -0,52$; $r_{yx7} = -0,44$; $r_{yx8} = -0,50$. Коэффициенты межфакторной корреляции показателей потерь в производстве: $r_{x6x7} = 0,40$; $r_{x6x8} = 0,46$; $r_{x7x8} = 0,35$. Теснота взаимосвязи этих факторов друг с другом почти такая же, как и с результирующим признаком выхода сахара. При построении регрессионной модели формирования результата производства сахара целесообразно включать в модель один из показателей потерь сахара в производстве.

Четвертая группа факторов производства сахара – величины расхода топлива и вспомогательных материалов: фактический расход условного топлива, X_9 , %; фактический расход известкового камня, X_{10} , %. Коэффициенты корреляции данных факторов с выходом готовой продукции: $r_{yx9} = -0,11$; $r_{yx10} = -0,18$. Коэффициент межфакторной корреляции между данными величинами составил $r_{x6x7} = 0,65$, факторы коллинеарны. Следовательно, необходимо включить в модель только один из этих факторов.

4. Модель регрессии основных показателей производства сахара на выход готовой продукции.

По результатам анализа тесноты взаимосвязи величины выхода сахара и технико-экономических факторов, формирующих этот показатель, выполнена процедура построения модели, описывающей эту взаимосвязь в форме линейной модели множественной регрессии:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_m X_m + \varepsilon \quad (4)$$

где ε – случайный компонент модели регрессии.

Было построено несколько моделей регрессии, в которых использовались разные комбинации из четырех групп ранее выделенных факторов производства. Фактически исследовалась четырехфакторная модель регрессии результата производства. Коэффициенты модели оценивались методом наименьших квадратов (МНК) [6]. Для каждой построенной модели определялся коэффициент детерминации и оценивалась значимость параметров модели на основе t-статистики Стьюдента. Окончательный выбор наилучшей модели из рассмотренных осуществлялся с использованием информационных критериев Акаике (AIC) и Шварца (BIC) [6, 7].

Проведенный анализ показал, что наилучшие результаты количественного описания влияния основных факторов производства на выход товарного сахара продемонстрировала комбинация величин среднесуточной производительности, X_1 , т; сахаристости свекловичной стружки, X_5 , %; фактических потерь сахара в производстве, X_7 , %; фактического расхода условного топлива, X_9 , %. Коэффициенты и основные показатели анализа построенной модели регрессии приведены в таблице.

Таблица

Результаты анализа модели регрессии факторов производства на выход сахара.

Фактор производства сахара	Коэффициент модели	Стандартная ошибка коэффициента	t-статистика	P-значение для оценки значимости фактора производства
Среднесуточная производительность, X_1 , т	-7,02 E-05	1,21E-05	-5,758	<0,0001
Сахаристость свекловичной стружки, X_5 , %	0,953368	0,0118075	80,74	<0,0001
Фактические потери сахара в производстве, X_7 , %	-1,15373	0,0515600	-22,38	<0,0001
Фактический расход условного топлива, X_9 , %	-0,106975	0,0376212	-2,843	0,0059

Модель регрессии основных факторов производства сахара на величину выхода готовой продукции имеет вид:

$$Y = -7,02 \cdot 10^{-5} X_1 + 0,95 X_5 - 1,15 X_7 - 0,11 X_9 + \varepsilon \quad (5)$$

Скорректированный коэффициент детерминации полученной модели составил $R^2 = 0,93$, критерии Акаике AIC = 7,23 и Шварца BIC = 1,93 продемонстрировали минимальное значение из всех построенных моделей. Величина P-значения демонстрирует значимость параметров модели, а, следовательно, указывает на значимость включенных в модель факторов производства сахара на уровне 0,01 (1%). Это

свидетельствует о существенном влиянии факторов производства сахара, включенных в построенную модель, на выход товарного сахара.

5. Количественная оценка влияния технико-экономических факторов производства сахара на выход готовой продукции.

Интерпретация построенной модели позволяет на основе истолкования полученных оценок коэффициентов модели оценить влияние технико-экономических факторов производства сахара на резульативный признак – выход сахара.

При изменении среднесуточной производительности X_1 на 1 т/сут выход готовой продукции изменится на $7,02 \cdot 10^{-5} \%$ в среднем при неизменном уровне других технико-экономических факторов. Связь обратная, при увеличении среднесуточной производительности X_1 выход готовой продукции Y будет уменьшаться, при уменьшении среднесуточной производительности X_1 выход готовой продукции Y будет увеличиваться.

При изменении сахаристости свекловичной стружки X_5 на 1 % выход готовой продукции изменится на 0,95% в среднем при неизменном уровне других технико-экономических факторов. Связь прямая, при увеличении сахаристости свекловичной стружки X_5 выход готовой продукции Y будет увеличиваться, при уменьшении сахаристости свекловичной стружки X_5 выход готовой продукции Y будет уменьшаться.

При изменении фактических потерь сахара в производстве X_7 на 1 % выход готовой продукции изменится на 1,15% в среднем при неизменном уровне других технико-экономических факторов. Связь обратная, при увеличении фактических потерь сахара в производстве X_7 выход готовой продукции Y будет уменьшаться, при уменьшении фактических потерь сахара в производстве X_7 выход готовой продукции Y будет увеличиваться.

При изменении фактического расхода условного топлива X_9 на 1% выход готовой продукции изменится на 0,11% в среднем при неизменном уровне других технико-экономических факторов. Связь обратная, при увеличении фактического расхода условного топлива X_9 выход готовой продукции Y будет уменьшаться, при уменьшении фактического расхода условного топлива X_9 выход готовой продукции Y будет увеличиваться.

6. Выводы и рекомендации.

При моделировании для определения влияния технико-экономических факторов на выход готовой продукции показатели производства сахара в России были сгруппированы в четыре подгруппы

по функциональному признаку. Выполнена оценка тесноты взаимосвязи между исследуемыми показателями производства сахара с оценкой значимости. Полученные коэффициенты корреляции продемонстрировали статистическую надежность, значимое отличие от нуля для исследуемого пространственного среза данных. Были выявлены дублирующие друг друга факторы в подгруппах.

С учетом сформированных подгрупп и коллинеарности факторов производства было исследовано несколько моделей. Наилучшие результаты показала линейная модель регрессии включающая факторы среднесуточной производительности, X_1 , т; сахаристости свекловичной стружки, X_5 , %; фактических потерь сахара в производстве, X_7 , %; фактического расхода условного топлива, X_9 , %. Данные технико-экономические факторы показывают существенное влияние на выход готовой продукции в производстве сахара в России.

Список литературы

1. Громковский, А. И. Оценка эффективности свеклосахарного производства / А. И. Громковский, А. А. Громковский, М. Г. Матвеев // Сахар. – 2017. – № 4. – С. 56 - 59.
2. Громковский, А. И. Оценка эффективности свеклосахарного производства с учетом урожайности свеклы и длительности сезона / А. И. Громковский, А. А. Громковский, Н. А. Громковская // Сахар. – 2018. – № 2. – С. 42 - 45.
3. Громковский, А. И. Экономическая оценка эффективности технологических процессов производства сахара из свеклы / А. И. Громковский, А. А. Громковский, С. В. Круглик // Сахар. – 2019. – № 9. – С. 48 - 51.
4. Acemoglu, D. The Colonial Origins of Comparative Development: An Empirical Investigation / D. Acemoglu, J. Simon, J. A. Robinson // American Economic Review. – 2001. – Vol. 91(5). – P. 1369 - 1401.
5. Пейдж, Скотт. Модельное мышление. Как анализировать сложные явления с помощью математических моделей / Скотт Пейдж. – пер. с англ. Н. Яцюк; [науч. ред И.Красиков, А. Минько]. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2020. – 528 с.
6. Сток, Джеймс. Введение в эконометрику / Джеймс Сток, Марк Уотсон. – пер. с англ.; под науч. ред. М. Ю. Турунцевой. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. – 864 с.
7. Дрейпер, Норман. Прикладной регрессионный анализ / Норман Дрейпер, Гарри Смит. – 3-е изд.: пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2017. – 912 с.