



Анализ модели производства сахара по технико-экономическим факторам^{*, S}

А.А. ГРОМКОВСКИЙ, канд. техн. наук, доцент (e-mail: aag68@bk.ru)

ВУНЦ «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Введение. Задача исследования

Рациональная организация производства сахара предполагает проведение анализа формирования результатов производственной деятельности. Такой анализ может быть реализован на основе математического описания формирования результирующих показателей производства под влиянием технико-экономических факторов. Математическая модель формирования результирующего показателя функционирования сахаропроизводящего комплекса России — выхода товарного сахара под влиянием существенных технико-экономических факторов производства является количественным описанием объективной экономической взаимосвязи [1, 2, 4]. Построенное математическое описание позволяет путём интерпретации его параметров и определения дополнительных аналитических показателей количественно оценить влияние факторов производства сахара на его результат [3].

Построение модификаций математической модели, например путём перехода к стандартизованной форме представления, позволяет выявить производственные факторы, которые сильнее влияют на результирующий показатель, и проранжировать их по силе влияния на результат [3, 5]. Расчёт и интерпретация дополнительных аналитических показателей дают возможность оценить относительную изменчивость формирования выхода товарного сахара, а также проверить корректность влияния производственных факторов на результат производства. Модельное математическое описание позволяет проводить анализ функционирования сахаропроизводящего комплекса по основным показателям для обоснования выработки корректных управленческих решений как на организационно-экономическом, так и на организационно-технологическом уровне. Математическая модель формирования результатов функционирования сахаропроизводящего комплекса по основным показателям его деятельности является важным компонентом анализа бизнес-

процессов производства сахара как сложной экономической системы [2, 5].

Модель регрессии основных показателей производства сахара на выход готовой продукции

Математическая модель формирования выхода товарного сахара-песка под влиянием существенных производственных факторов для сахаропроизводящего комплекса России была построена в виде модели множественной регрессии [3]:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_m X_m + \varepsilon, \quad (1)$$

где ε — случайный компонент модели регрессии.

Построенное математическое описание позволяет учесть влияние случайных факторов на описываемый результирующий признак.

Модель регрессии, описывающая формирование выхода готовой продукции — товарного сахара-песка под влиянием основных производственных факторов строилась на основе пространственного среза данных производственного учёта сахаропроизводящего комплекса России за сезон 2018–2019 гг. [6]. Результирующие показатели производства были сгруппированы по четырём подгруппам соответственно их производственно-экономической сущности. Каждая подгруппа объединяла несколько показателей. Математическая модель формирования результата производства сахара для сахаропроизводящего комплекса России строилась путём перебора разных комбинаций факторов производства на основе уравнения (1). Рассматривалась линейная модель вида (1) с разными комбинациями производственных факторов X_j . Коэффициенты модели оценивались методом наименьших квадратов (МНК).

Наилучшее количественное описание влияния основных факторов производства сахара на выход готовой продукции Y продемонстрировала комбинация величин среднесуточной производительности, X_1 , т/сут.; сахаристости свекловичной стружки, X_5 , %; фактических потерь сахара в производстве, X_7 , %; фактического расхода условного топлива, X_9 , % [1]. Коэффициенты и основные показатели оценки значимости построенной модели регрессии приведены в таблице.

*Продолжение. Начало см.: А.И. Громковский, А.А. Громковский. Моделирование результатов производства сахара по технико-экономическим факторам // Сахар. — 2020. — № 10. — С. 46–49.



Параметры 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/сут	$-7,02 \cdot 10^{-5}$	$1,21 \cdot 10^{-5}$	-5,758	<0,0001
Сахаристость свекловичной стружки, X_5 , %	0,95	0,01	80,74	<0,0001
Фактические потери сахара в производстве, X_7 , %	-1,15	0,05	-22,38	<0,0001
Фактический расход условного топлива, X_9 , %	-0,11	0,04	-2,84	0,0059

Оценка качества модели проводилась на основе проверки значимости её коэффициентов. Коэффициенты модели регрессии отражают причинно-следственную связь между результатом производства Y и факторами производства X_j , включёнными в математическое описание.

Значимость коэффициентов модели проверялась на основе проверки статистических гипотез с использованием статистики критерия Стьюдента. Основная гипотеза — о незначимости рассчитанной выборочной оценки коэффициента модели $H_0: \alpha_j = 0$, альтернативная гипотеза — о значимости коэффициента — $H_1: \alpha_j \neq 0$. Для проверки гипотезы используется статистика критерия Стьюдента (t -статистика), на основе которой строится двусторонняя критическая область, поскольку полученные оценки коэффициентов модели могут быть как положительными, так и отрицательными. Границы критической области определяются на основе уровня значимости и числа степеней свободы $df = n - 2$, где n — количество измерений исследуемых производственно-технических величин.

Из таблицы видно, что все коэффициенты построенной модели регрессии статистически значимы, в том числе на уровне 1 %. Это говорит о наличии значимой причинно-следственной связи между выходом готовой продукции и технико-экономическими показателями производства сахара, отобранными в модель.

Модель регрессии основных факторов производства сахара на величину выхода сахара имеет вид [1]

$$Y = -7,02 \cdot 10^{-5} X_1 + 0,95 X_5 - 1,15 X_7 - 0,11 X_9 + \varepsilon. \quad (2)$$

Для задачи количественного математического описания выхода сахара от формирующих его технико-экономических факторов производства значимость коэффициента модели предполагает наличие существенной причинно-следственной связи между исследуемыми показателями производства. Незначимость коэффициента говорит об отсутствии существенной связи между показателями производства.

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

Интерпретация построенной модели позволяет на основе словесного истолкования полученных оценок её параметров оценить влияние технико-экономических факторов производства сахара на результативный признак — выход готовой продукции [3, 5].

При изменении среднесуточной производительности предприятия 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. Оценка данного параметра получена для всего сахаропроизводящего комплекса России. Коэффициент модели статистически значим, несмотря на его малую величину.

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.

Стандартизация модели регрессии основных факторов производства сахара на выход готовой продукции

Модель в форме уравнения (2) позволяет провести количественную оценку влияния технико-экономических факторов производства сахара, но не позволяет проранжировать эти факторы по степени влияния на результат [3]. Исследуемые технико-экономические факторы производства сахара имеют различные единицы измерения и разную вариабельность. Для упорядочения влияния факторов производства сахара на выход готовой продукции целесообразно осуществить переход к стандартизованным переменным в соответствие с соотношениями

$$y_i^* = \frac{y_i - \bar{y}}{\sigma_y}; x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_{x_j}}, \quad (3)$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$; $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ – выборочные средние исследуемых величин;

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} - \text{выборочное стандартное отклонение}$$

результатирующей переменной Y ;

$$\sigma_{x_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}} - \text{выборочное стандартное отклонение}$$

j -й факторной переменной математической модели формирования выхода сахара.

С помощью этих переменных можно записать модель множественной регрессии (1) в стандартизованной форме:

$$y_i^* = \beta_1 x_{1i}^* + \beta_2 x_{2i}^* + \dots + \beta_m x_{mi}^* + \varepsilon_i^*, \quad (4)$$

где ε_i^* – случайный компонент стандартизованной модели регрессии.

Коэффициенты стандартизованной модели регрессии можно оценить методом наименьших квадратов по преобразованным в соответствии с соотношениями (3) исходным данным учёта производства. Допустимо определить стандартизованные коэффициенты через коэффициенты модели регрессии в обычном виде по формуле

$$\beta_j = \alpha_j \frac{\sigma_{x_j}}{\sigma_y}. \quad (5)$$

На основе исходной формы уравнения регрессии (2) была получена стандартизованная форма модели следующего вида:

$$Y^* = -0,136X_1^* + 0,799X_5^* - 0,476X_7^* - 0,085X_9^* + \varepsilon^*. \quad (6)$$

Стандартизованные коэффициенты модели регрессии основных факторов производства сахара на выход готовой продукции можно интерпретировать также путём их словесного истолкования.

При изменении среднесуточной производительности X_1 на одно среднеквадратичное отклонение выход готовой продукции изменится на 0,136 величины среднеквадратичного отклонения 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 одно среднеквадратичное отклонение выход готовой продукции изменится на 0,799 величины среднеквадратичного отклонения 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 одно среднеквадратичное отклонение выход готовой продукции изменится на 0,476 величины среднеквадратичного отклонения 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 одно среднеквадратичное отклонение выход готовой продукции изменится на 0,085 величины среднеквадратичного отклонения 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.

Ранжирование технико-экономических факторов производства, включённых в стандартизованный вид модели (6) проводится по абсолютному значению коэффициента уравнения. Чем больше абсолютное значение коэффициента, тем сильнее фактор, расположенный при данном коэффициенте в модели, влияет на выход готовой продукции Y . Стандартизованный вид модели регрессии основных факторов производ-



ства сахара на выход готовой продукции (6) позволяет упорядочить факторы производства сахара в России следующим образом.

Сильнее всех на выход готовой продукции Y влияет сахаристость свекловичной стружки X_5 (%). Далее, по убыванию степени влияния, идут технико-экономические факторы фактических потерь сахара в производстве X_7 (%) и среднесуточной производительности предприятия X_1 (т/сут). Наименьшее влияние на выход готовой продукции среди всех факторов производства сахара, включённых в модель, оказывает показатель фактического расхода условного топлива X_9 (%).

Оценка эластичности выхода сахара по факторам производства

С помощью стандартизованных коэффициентов можно определить частные коэффициенты эластичности выхода готовой продукции по технико-экономическим факторам производства сахара:

$$\Theta_j = \alpha_j \frac{\bar{x}_j}{\bar{y}}. \quad (7)$$

Для отобранных в модель факторов производства сахара были получены частные коэффициенты эластичности:

$$\Theta_1 = -0,023; \Theta_5 = -1,102; \Theta_7 = -0,05; \Theta_9 = -0,029. \quad (8)$$

Полученные частные коэффициенты эластичности можно интерпретировать следующим образом. При изменении среднесуточной производительности X_1 на 1 % выход готовой продукции изменится на 0,02 % в среднем при неизменном уровне других технико-экономических факторов.

При изменении сахаристости свекловичной стружки X_5 на 1 % выход готовой продукции изменится на 1,10 % в среднем при неизменном уровне других технико-экономических факторов.

При изменении фактических потерь сахара в производстве X_7 на 1 % выход готовой продукции изменится на 0,05 % в среднем при неизменном уровне других технико-экономических факторов.

При изменении фактического расхода условного топлива X_9 на 1 % выход готовой продукции изменится на 0,03 % в среднем при неизменном уровне других технико-экономических факторов.

Частные коэффициенты эластичности модели регрессии также позволяют проранжировать факторы производства по их силе влияния на результат в соответствии с абсолютным значением коэффициента. Соответственно можно сделать следующие выводы. Наибольшую эластичность выхода сахара демонстрирует по величине сахаристости свекловичной стружки X_5 (%). Далее по степени эластичности следуют тех-

нико-экономические факторы фактических потерь сахара в производстве X_7 (%) и среднесуточной производительности предприятия X_1 (т/сут). Наименьшую эластичность выход сахара показывает по величине фактического расхода условного топлива X_9 (%).

Ранжирование факторов производства по величине стандартизованных коэффициентов регрессии и по величине частных коэффициентов эластичности позволяет провести контрольное сопоставление результатов упорядочения. Результаты ранжирования факторов производства сахара в России по коэффициентам стандартизации и по частным коэффициентам эластичности совпадают. Это свидетельствует о правильном отборе факторов для построения модели регрессии.

Выводы

Для модели формирования выхода сахара с основными технико-экономическими факторами производства сахара была проведена количественная интерпретация параметров модели, которая позволила оценить влияние каждого из существенных факторов, включённых в модель, на результат производства. Данная оценка проводилась для функционирования сахаропроизводящего комплекса России в целом.

На основе модели формирования выхода готовой продукции с технико-экономическими факторами производства сахара в России была построена стандартизованная форма уравнения. Данная форма модели является более информативным математическим представлением влияния факторов производства сахара на выход готовой продукции. Она позволила упорядочить технико-экономические факторы производства по степени их влияния на результат функционирования сахаропроизводящего комплекса России. По степени убывания влияния на выход сахара факторы производства расположились в следующем порядке: сахаристость свекловичной стружки X_5 (%), фактические потери сахара в производстве X_7 (%), среднесуточная производительность предприятия X_1 (т/сут), фактический расход условного топлива X_9 (%).

Для оценки эластичности выхода готовой продукции сахаропроизводящего комплекса России по технико-экономическим факторам были рассчитаны частные коэффициенты эластичности. Данные величины позволили оценить эластичность выхода сахара по каждому технико-экономическому фактору производства сахара, включённому в модель, и провести контроль ранжирования производственных факторов на выход сахара. Результаты ранжирования факторов производства сахара по стандартизованной форме модели и по частным коэффициентам эластичности совпали, что свидетельствует о корректности про-

Оформить подписку на журнал «Сахар» в бумажной версии на 2-е полугодие 2021 г. можно по ссылке: <https://podpiska.pochta.ru>.
Каталожная цена составляет 466,77 р. (с НДС),
подписная цена с учётом доставки зависит от региона.
Минимальный срок подписки – 1 месяц



Варианты подписки на 2021 г.

1) бумажная версия:

через электронный каталог «Почта России»
по адресу: <https://podpiska.pochta.ru>
(наш индекс П6305)

2) через редакцию (заявка на sahar@saharmag.com)

с доставкой по России «Почтой России»,
цена 1000 р. за 1 месяц, 12000 р/год

3) PDF-версия журнала (подписка через редакцию):

для России, стран ближнего
и дальнего зарубежья – 3000 р. на полугодие;
минимальный срок подписки – 1 месяц, цена 500 р.

Адрес редакции: 121069, Россия, г. Москва, Скотертный пер., д. 8/1, стр. 1.

Тел/факс: +7(495) 690-15-68; +7(985)769-74-01; e-mail: sahar@saharmag.com

Бухгалтерия: +7 (495)695-45-67; e-mail: buh@saharmag.com; официальный сайт: www.saharmag.com

ведения процедуры выделения существенных производственных показателей для построения модели. В целях проверки корректности полученных выводов необходимо провести сопоставление данных учёта производства сахара в России за разные годы. Это является дальнейшим направлением проведения исследования.

Список литературы

1. Громковский, А.И. Моделирование результатов производства сахара по технико-экономическим факторам / А.И. Громковский, А.А. Громковский // Сахар. – 2020. – № 10. – С. 46–49.
2. Громковский, А.И. Техничко-экономический анализ свеклосахарного производства / А.И. Громковский, А.А. Громковский, Н.А. Громковская // Сахар. – 2017. – № 7. – С. 20–23.
3. Картаев, Ф.С. Введение в эконометрику / Ф.С. Картаев. – М.: Проспект, 2020. – 472 с.
4. Пейдж, С. Модельное мышление. Как анализировать сложные явления с помощью математических моделей / С. Пейдж. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2020. – 528 с.
5. 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.
6. Отчёты Союза сахаропроизводителей России. Декадные сведения о выработке сахара-песка из свёклы за 2019 год. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://sprav.saharmag.com/category/category_14.html, свободный. Яз. рус. (Дата обращения: 20.09.2019)

Аннотация. На основе модели формирования выхода товарного сахара для сахаропроизводящего комплекса России проведён анализ влияния основных производственных факторов на результат производства. Используемая математическая модель преобразована к стандартизированной форме. На основе стандартизированной формы модели проведено ранжирование основных факторов производства сахара, влияющих на выход готовой продукции. Определены частные коэффициенты эластичности выхода сахара по основным производственным факторам его формирования. Оценена эластичность выхода сахара по основным факторам производства и проведено сопоставление результатов ранжирования по фактору эластичности и по стандартизированной форме модели. Ключевые слова: производство сахара, моделирование, анализ, выход сахара, факторы производства сахара.

Summary. On the basis of the model of formation of the output of commercial sugar for the sugar-producing complex of Russia, the analysis of the influence of the main production factors on the result of production is carried out. The mathematical model used is converted to a standardized form. On the basis of the constructed standardized form of the model, the ranking of the main factors of sugar production that affect the yield of finished products is carried out. The partial coefficients of sugar yield elasticity for the main production factors of its formation are determined. The elasticity of sugar yield by the main production factors is estimated and the results of ranking by the elasticity factor and by the standardized model form are compared.

Keywords: sugar production, modeling, analysis, sugar yield, sugar production factors.

