

# Моделирование безубыточности функционирования сахарных заводов

**А.И. ГРОМКОВСКИЙ**, канд. техн. наук, профессор

Воронежский государственный университет инженерных технологий

**А.А. ГРОМКОВСКИЙ**, канд. техн. наук, доцент

(e-mail: aag68@bk.ru)

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

## Введение. Задачи исследования

Объём сахара, произведённого в России из отечественного сырья, в течение последних лет превышает потребности населения и перерабатывающих отраслей, использующих сахар как сырьё. За два прошедших года количество нереализованного сахара превысило 1 млн т. Рыночная цена сахара стала снижаться, возник риск убыточной работы сахарных заводов, образовался дефицит оборотных средств. Данные факторы могут стать причиной банкротства предприятий и прекращения производственной деятельности. Такие экономические условия предъявляют повышенные требования к эффективности управления с применением математических методов планирования и прогнозирования для обеспечения безубыточной работы.

## Обоснование экономической модели функционирования сахаропроизводящего комплекса

Главной задачей производственной деятельности предприятий является получение прибыли. Поэтому решение задачи управления целесообразно рассматривать на основе экономической модели прибыли. В общем случае величина прибыли предприятия  $\Pi$  определяется как разность выручки от реализации произведённой продукции  $R$  и общих издержек производства  $C$ :

$$\Pi = R - C. \quad (1)$$

На основе уравнения (1) с использованием математических методов [1–3], закономерностей технологических процессов и основных принципов учёта производства [4, 5] можно построить экономическую модель производства сахара из свёклы.

В теоретической экономике [4] различают два вида прибыли: бухгалтерскую и экономическую. Бухгалтерская прибыль используется для составления внешней отчётности предприятия перед государственными органами контроля. Методика расчёта бухгалтерской прибыли регламентируется правительственными постановлениями и международными стандартами. Экономическая прибыль и её анализ предназначены для выявления неиспользованных резервов производства для повышения экономической эффективности работы предприятия за счёт эффективного управления. Структура экономической прибыли не регламентируется и зависит от главных факторов, определяющих производственный цикл.

Главная особенность производства сахара из свёклы – сезонность. Сезон производства включает в себя три периода: выращивание свёклы, её уборка и переработка, капитальный ремонт оборудования перед началом следующего сезона. С точки зрения экономической теории сезонное производство можно считать краткосрочным, с совершенной конкуренцией [4, 6], при которой предусматривается реализация сахара при постоянной отпускной цене  $p_{cx}$ . В этих условиях доход от реализации 1 т сахара для всех заводов Российской Федерации должен быть постоянным, равным цене сахара. Экономическую прибыль отдельного сахарного завода можно повышать за счёт увеличения выпуска сахара и количества перерабатываемой свёклы.

Выручка от реализации  $R$  при постоянной стоимости сахара определяется уравнением

$$R = p_{cx} \cdot A \cdot t \cdot \frac{Bx}{100}, \quad (2)$$

где  $p_{cx}$  — отпускная цена сахара, р/т;  $A$  — производственная мощность завода, т свёклы в сутки;  $t$  — длительность сезона, сут;  $Vx$  — выход сахара, %.

Общие издержки производства  $C$  складываются из двух составляющих: постоянных издержек  $F$ , которые не зависят от объёма производства, и переменных издержек  $V$ :

$$C = F + V. \quad (3)$$

Постоянные издержки  $F$  определяются задачами, для решения которых применяется математическая модель. Можно выделить три основных задачи:

- проектирование и реконструкция сахарных заводов;
- планирование и управление производством;
- проведение аудита с целью определения неэффективных операций при управлении.

Цель решения первой задачи — определение оптимальной производительности сахарного завода, определение затрат на строительство или реконструкцию, от которых зависит величина амортизационных отчислений. Затраты на строительство или реконструкцию определяются сроком окупаемости, величиной амортизационных отчислений  $At$  и размером кредита  $Kr$ , который необходим для выполнения строительно-монтажных работ.

При решении задач управления предприятием постоянные издержки должны также включать в себя амортизационные отчисления  $At$ , краткосрочные кредиты  $Kr$ , арендную плату  $Ar$ . Особенность функционирования сахарного завода состоит в том, что переработка сырья осуществляется в течение 4–6 месяцев текущего сезона производства, а реализация готовой продукции и получение выручки происходит в течение всего календарного года. Завод вынужден хранить готовый продукт в течение всего календарного года, получая непроизводительные затраты на хранение. Кроме того, из оборота выводятся значительные средства. Это снижает ликвидность оборотных средств. Постоянные затраты должны включать дебиторскую задолженность  $Dz$ . Сезонность, непрерывность технологического процесса и агрессивное воздействие продуктов на оборудование и коммуникации отражается в структуре постоянных затрат. После окончания текущего сезона и перед началом очередного сезона проводится капитальный ремонт оборудования с заменой изношенных узлов. Для реализации данного технического мероприятия создаётся бюджетный фонд оборотных средств  $B_{и}$ . Эти средства, а также фонд заработной платы  $\Phi OT$  необходимо включать в постоянные затраты.

С учётом изложенного постоянные затраты можно выразить уравнением

$$At = Kr + Ar + Dz + B_{и} + \Phi OT, \quad (4)$$

где  $At$  — величина амортизации (износа) основных фондов, р.;

$Kr$  — погашение кредитов, р.;

$Ar$  — размер арендной оплаты за пользование землёй, водными ресурсами, р.;

$Dz$  — дебиторская задолженность, р.;

$B_{и}$  — бюджетные инвестиции предприятия на данный сезон, включающие в себя:

- затраты на ремонт; приобретение фильтровальных тканей, каустической соды, пеногасителей, серы и серной кислоты, антинакипина; обеспечение работы лаборатории;
- стоимость известняка и топлива для его обжига, р.;

$\Phi OT$  — фонд оплаты труда на сезон производства, р.

Переменные издержки включают в себя суммарные затраты на сырьё, энергию, вспомогательные материалы за вычетом суммы от реализации отходов производства — мелассы и гранулированного жома.

Расчёт издержек ведётся с учётом производительности завода  $A$ , длительности сезона производства  $t$  и выхода сахара  $Vx$ . Для расчёта переменных издержек свеклосахарного производства получено аналитическое выражение в виде [1]

$$V = \left[ \frac{100 \cdot p_{cb}}{Vx} + \frac{(T + T_{ж}) \cdot p_{т}}{1,14 \cdot Vx} + \frac{1000 \cdot p_{y}}{m_{y}} - \frac{M \cdot p_{м} - Ж \cdot p_{ж}}{Vx} \right] \cdot A \cdot t \cdot \frac{Vx}{100}, \quad (5)$$

где  $p_{cb}$  — цена свёклы, р/т;

$T$  — расход условного топлива на получение тепловой и электрической энергии, %;

$T_{ж}$  — расход условного топлива на сушку жома, %;

$p_{т}$  — цена топлива, р/м<sup>3</sup> газа;

$p_{y}$  — цена упаковки, р.;

$m_{y}$  — масса упаковки, кг;

$M$  — выход мелассы (отход производства), %;

$p_{м}$  — цена мелассы, р/т;

$Ж$  — выход гранулированного жома, %;

$p_{ж}$  — цена гранулированного жома, р/т.

Уравнение (5) отражает производственную себестоимость сахара.

Подставив соотношения (2), (4) и (5) в уравнение (1), получим уравнение экономической прибыли сахарного завода за сезон без учёта налогов:

$$\Pi = p_{cx} \cdot A \cdot t \cdot \frac{Bx}{100} - F - \left[ \frac{100 \cdot p_{cb}}{Bx} + \frac{(T + T_{ж}) \cdot p_T}{1,14Bx} + \frac{1000 \cdot p_y}{m_y} - \frac{M \cdot p_M}{Bx} - \frac{Ж \cdot p_{ж}}{Bx} \right] \cdot A \cdot t \cdot \frac{Bx}{100} \quad (6)$$

Уравнение (6) является математической моделью экономики сезонного производства сахара. С помощью этой модели можно решать задачи, приведённые выше. Наиболее важная из них – задача планирования и управления в условиях перепроизводства сахара.

При работе сахарной отрасли в условиях перепроизводства нарушается закон совершенной конкуренции [4] и предприятия стремятся увеличить объём реализации за счёт снижения цены сахара. При этом возникает задача определения минимальной цены сахара, до которой можно проводить снижение. Такая цена сахара называется безубыточной.

Чтобы обеспечить минимальные убытки, необходимо постоянно контролировать точку безубыточности для своего предприятия, которая определяется интегральным показателем соотношения постоянных и общих издержек [3]. Точку безубыточности можно рассчитать с использованием уравнения (6). Уравнение для расчёта данного интегрального показателя будет иметь вид

$$\gamma = \frac{F}{F + \left[ \frac{100 \cdot p_{cb}}{Bx} + \frac{(T + T_{ж}) \cdot p_T}{1,14Bx} + \frac{1000 \cdot p_y}{m_y} - \frac{M \cdot p_M}{Bx} - \frac{Ж \cdot p_{ж}}{Bx} \right] \cdot A \cdot t \cdot \frac{Bx}{100}} \quad (7)$$

Из уравнения (7) можно определить неизвестные постоянные затраты  $F$  сахарного завода:

$$F = \frac{\gamma}{1 - \gamma} \left[ \frac{100 \cdot p_{cb}}{Bx} + \frac{(T + T_{ж}) \cdot p_T}{1,14Bx} + \frac{1000 \cdot p_y}{m_y} - \frac{M \cdot p_M}{Bx} - \frac{Ж \cdot p_{ж}}{Bx} \right] \cdot A \cdot t \cdot \frac{Bx}{100} \quad (8)$$

Использование интегрального показателя  $\gamma$  позволяет найти значение постоянных издержек  $F$ , вычисляемых с помощью уравнения (4) через переменные издержки, величины которых определяются уравнением (5). После подстановки уравнения (8)

в уравнение (6) получаем окончательное уравнение модели прибыли сахарного завода за сезон производства в виде

$$\Pi = p_{cx} \cdot A \cdot t \cdot \frac{Bx}{100} - \frac{\gamma}{1 - \gamma} \left[ \frac{100 \cdot p_{cb}}{Bx} + \frac{(T + T_{ж}) \cdot p_T}{1,14Bx} + \frac{1000 \cdot p_y}{m_y} - \frac{M \cdot p_M}{Bx} - \frac{Ж \cdot p_{ж}}{Bx} \right] \cdot A \cdot t \cdot \frac{Bx}{100} - \left[ \frac{100 \cdot p_{cb}}{Bx} + \frac{(T + T_{ж}) \cdot p_T}{1,14Bx} + \frac{1000 \cdot p_y}{m_y} - \frac{M \cdot p_M}{Bx} - \frac{Ж \cdot p_{ж}}{Bx} \right] \cdot A \cdot t \cdot \frac{Bx}{100} \quad (9)$$

Решение уравнения (9) показывает, что при определённом значении коэффициента  $\frac{\gamma}{1 - \gamma}$ , выраженного в процентах, прибыль предприятия становится равной нулю, что является точкой безубыточности.

Для определения точки безубыточности сахарного завода проведены расчёты по уравнению (9) для трёх заводов разной производственной мощности при различной цене свёклы. Два первых завода прошли реконструкцию с внедрением современных технологий (применение прессов глубокого отжатия жома, позволяющее повысить производственную мощность; использование тепловых отходов; эксплуатация современных вакуум-аппаратов в продуктовом отделении и вертикальных кристаллизаторов на последней стадии кристаллизации), имеют плановую производственную мощность 10 тыс. т и 3 тыс. т свёклы в сутки. Третий завод построен по проекту 1985 г., имеет проектную производственную мощность 3 тыс. т свёклы в сутки, но за счёт использования устаревших технологий его плановая производительность составит 2 тыс. 700 т свёклы в сутки.

Для трёх исследуемых заводов по уравнению (9) проведены расчёты с целью определения точки безубыточности для двух значений цены свёклы – 2 250 и 2 500 р. при изменении цены сахара от 26 до 16 тыс. р/т.

Результаты расчётов представлены в табл. 1–3.

### Обсуждение результатов

Исходные данные для расчётов формировались по итогам работы сахарных заводов ЦЧР России за последние 5 лет. Технологические параметры продуктов основаны на данных Союза сахаропроизводителей России. Цена топлива определяется государственными нормами, в частности цена газа составляет 5 800 р. за 1 тыс. м<sup>3</sup>. Цена сахарной свёклы устанавливается договорами-контрактами. Для ведущих компаний – производителей сахара 50 % свёклы заготавливается

**Таблица 1. Результаты моделирования безубыточности для завода производительностью  $A = 10$  тыс. т свёклы в сутки**

Цена сахара, тыс. р.	Постоянные издержки $F$ , р.	Переменные издержки, р.	Точка безубыточности	Выручка за сезон, р.
Цена свёклы 2 250 р.				
26	1 897 054 954	2 002 929 825	0,9471	3 899 984 779
24	1 597 136 242	2 002 929 825	0,7974	3 600 066 067
22	1 297 097 354	2 002 929 825	0,6476	3 300 027 179
20	997 058 466	2 002 929 825	0,4978	2 999 988 291
18	697 019 578	2 002 929 825	0,3480	2 699 949 403
16	396 980 691	2 002 929 825	0,1982	2 399 910 516
Цена свёклы 2 500 р.				
26	1 647 116 994	2 252 929 825	0,7311	3 900 046 819
24	1 347 026 742	2 252 929 825	0,5979	3 599 956 567
22	1 047 161 782	2 252 929 825	0,4648	3 300 091 607
20	747 071 529	2 252 929 825	0,3316	3 000 001 354
18	446 981 277	2 252 929 825	0,1984	2 699 911 102
16	147 116 317	2 252 929 825	0,0653	2 399 910 516

**Таблица 2. Результаты моделирования безубыточности для реконструированного завода производительностью  $A = 3$  тыс. т свёклы в сутки**

Цена сахара, тыс. р.	Постоянные издержки $F$ , р.	Переменные издержки, р.	Точка безубыточности	Выручка за сезон, р.
Цена свёклы 2 250 р.				
26	569 092 451	600 878 947	0,9471	1 169 971 398
24	479 140 872	600 878 947	0,7974	1 080 019 819
22	389 129 206	600 878 947	0,6476	990 008 153
20	299 117 540	600 878 947	0,4978	899 996 487
18	209 105 873	600 878 947	0,3480	809 984 820
16	119 094 207	600 878 947	0,1982	719 973 154
Цена свёклы 2 500 р.				
26	494 135 098	675 878 947	0,7311	1 170 014 045
24	404 108 022	675 878 947	0,5979	1 079 986 969
22	314 148 534	675 878 947	0,4648	990 027 481
20	224 121 458	675 878 947	0,3316	900 000 405
18	134 094 383	675 878 947	0,1984	809 973 330
16	44 134 895	675 878 947	0,0653	720 013 842

**Таблица 3. Результаты моделирования безубыточности для нереконструированного завода фактической производительностью  $A = 2 700$  т свёклы в сутки**

Цена сахара, тыс. р.	Постоянные издержки $F$ , р.	Переменные издержки, р.	Точка безубыточности	Выручка за сезон, р.
Цена свёклы 2 250 р.				
26	402 827 396	650 141 052	0,6196	1 052 968 448
24	321 884 835	650 141 052	0,4951	972 025 887
22	240 877 260	650 141 052	0,3705	891 018 312
20	159 869 684	650 141 052	0,2459	810 010 737
18	78 862 109	650 141 052	0,1213	729 003 162
16	—	—	—	—
Цена свёклы 2 500 р.				
26	335 353 663	717 641 052	0,4673	1 052 994 716
24	254 331 989	717 641 052	0,3544	971 973 041
22	173 382 078	717 641 052	0,2416	891 023 130
20	92 360 403	717 641 052	0,1287	810 001 456
18	11 338 728	717 641 052	0,0158	728 979 781
16	—	—	—	—

собственными агрофирмами при себестоимости 2 тыс. р/т, 50 % поставляется сельхозпроизводителями по цене 2 500 р/т. Поэтому при моделировании безубыточности средняя цена сахарной свёклы принята в виде двух значений – 2 250 и 2 500 р/т.

Цена сахара – это рыночный показатель, который может принимать различные значения. В расчётах применён многовариантный принцип с изменением цены от 26 до 16 тыс. р/т.

Используя указанные исходные данные, с помощью уравнения (9) определены параметры безубыточной работы трёх сахарных заводов. Два первых завода (см. табл. 1 и 2) производственной мощностью 10 и 3 тыс. т свёклы в сутки реконструированы с внедрением современных технологий. Третий завод, построенный по проекту 1985 г., частично реконструирован с заменой четырёхкорпусной выпарной установки на пятикорпусную. На предприятии отсутствуют прессы глубокого отжатия жома, и оно вынуждено работать с высокими откачками диффузионного сока (120–130 %). Это приводит к снижению производственной мощности тепловой схемы и ТЭЦ до 2 700 т свёклы в сутки. На заводе не используется в полной мере энергия тепловых отходов, что приводит к повышенному расходу топлива.

Указанные особенности производственных схем нашли своё отражение в результатах расчёта безубыточных параметров работы, которые для третьего завода могут стать причиной банкротства.

В табл. 1–3 в стоимостном выражении представлены плановые значения постоянных и переменных издержек, выручка (объёмы реализации) и соответствующая им точка безубыточности  $\frac{\gamma}{1-\gamma}$ . Из таблиц

видно, что стоимость переменных издержек зависит только от цены свёклы и не зависит от цены сахара. Это объясняется тем, что переменные издержки определяются только эффективностью технологий, используемых на заводе. Для реконструированных заводов производственной мощностью 10 и 3 тыс. т свёклы в сутки, использующих современные эффективные технологии, стоимость переменных издержек одинакова и не зависит от рыночной цены сахара. Точка безубыточности для этих заводов одинакова. Отсюда можно сделать обратный вывод: заводы, отличающиеся производственной мощностью в три раза, могут реализовывать сахар по одинаковой цене.

В отличие от этих заводов третий завод имеет значительно более низкие показатели безубыточности. Чтобы избежать больших убытков, он вынужден реализовывать сахар по более высокой цене по сравнению с первым и вторым заводами.

### Выводы

Получено аналитическое выражение экономической прибыли свеклосахарного производства, позволяющее прогнозировать экономическую эффективность на стадиях проектирования и управления заводом.

Процесс управления переработкой свёклы следует начинать при расчётном выходе сахара по методике П.М. Силина выше безубыточного значения. Окончание переработки рекомендуется проводить по показателю безубыточной цены сахара. Минимально допустимую цену реализации сахара предлагается определять по величине расчётной безубыточной цены. Полученная методика расчёта прибыли апробирована на расчёте показателей безубыточности для трёх заводов — реконструированных с внедрением передовых технологий разной производственной мощности и частично реконструированного, построенного по нормам проектирования 1985 г. Установлено, что показатели безубыточности первых двух заводов выше, чем третьего. В условиях перепроизвод-

ства сахара это позволяет снижать отпускную цену сахара и тем самым увеличивать конкурентоспособность на рынке.

### 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. Техничко-экономический анализ свеклосахарного производства / А.И. Громковский, А.А. Громковский, Н.А. Громковская // Сахар. — 2017. — № 7. — С. 20–23.
3. Вовк, Г.А. Технохимический учёт производства при переработке сахарной свёклы и тростникового сахара-сырца на свеклосахарных заводах (ч. I) / Г.А. Вовк, Л.Л. Клименко — М. : МГУПП, 2004. — 110 с.
4. Аксёнов, А.П. Экономика предприятия / А.П. Аксёнов [и др.]. — М. : КНОРУС, 2011. — 352 с.
5. Экономическая теория / под ред. И.П. Николаевой. — М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2008. — 527 с.
6. Сазерленд, Дж. Scrum. Революционный метод управления проектами / Дж. Сазерленд. — М. : Манн, Иванов и Фербер, 2018. — 272 с.

**Аннотация.** Разработана математическая модель прибыли сахарного завода с учётом особенностей функционирования производства сахара. В исследуемой модели структурированы постоянные и переменные издержки производства сахара с учётом реализуемых технологических процессов. Рассмотрено применение модели для определения безубыточной цены сахара в условиях перепроизводства в экономике. На основе разработанной математической модели для трёх сахарных заводов различной производственной мощности с разными технологическими возможностями проведено исследование безубыточности функционирования в условиях перепроизводства.

**Ключевые слова:** производство сахара, моделирование, анализ, безубыточность.

**Summary.** A mathematical model of the sugar factory's profit has been developed, taking into account the peculiarities of sugar production functioning. In the studied model, fixed and variable costs of sugar production are structured taking into account the implemented technological processes. The application of the model for determining the breakeven price of sugar in the conditions of overproduction in the economy is considered. Based on the developed mathematical model for three sugar factories of different production capacity with different technological capabilities, a study of breakeven operation in conditions of overproduction was conducted.

**Keywords:** sugar production, modeling, analysis, breakeven.