

DOI: 10.17323/2587-814X.2024.2.67.77

# Оптимальная стратегия закупок сырья, минимизирующая ценовые риски предприятия

А.И. Марон<sup>a\*</sup> 

E-mail: amaron@hse.ru

М.А. Марон<sup>b</sup> 

E-mail: maxxx-fizik@mail.ru

А.А. Казьмина<sup>c</sup> 

E-mail: anastasiaka@kaist.ac.kr

<sup>a</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

<sup>b</sup> Банк «Цифра банк», Москва, Россия

<sup>c</sup> Корейский передовой институт науки и технологий (КАИСТ), Тэджон, Корея

## Аннотация

Настоящая статья посвящена проблеме теоретической и информационной поддержки принятия решений по стратегическому управлению процессами закупки сырья. Актуальность исследования обусловлена тем, что в настоящее время наблюдается значительная волатильность цен на сырье. Это ставит перед менеджерами очень сложные задачи. Их решение является одним из важнейших направлений бизнес-информатики. В статье рассматривается стратегия закупок в два этапа: в начале и середине месяца. Цена на сырье известна только в начале месяца. Цена – непрерывная случайная величина, можно предсказать только интервал ее изменения. В данной работе именно интервал, а не предсказанное конкретное значение непосредственно используется для определения объема покупки по известной цене в начале месяца. Авторами найдена функциональная зависимость максимального риска по Сэвиджу от количества закупленного сырья на начало месяца. В результате удалось установить количество сырья, закупка которого в начале месяца обеспечивает минимум максимального риска. На примере закупок кукурузы проведен сравнительный анализ возможных методов определения этих интервалов на основе анализа временных рядов цен. Впервые найдено строгое решение задачи минимизации максимального риска при закупке сельскохозяйственного сырья. Статья представляет интерес для менеджеров, отвечающих за закупку сырья для перерабатывающих предприятий, а также аспирантов экономико-математических специальностей.

\* Автор, ответственный за переписку

**Ключевые слова:** теория статистических решений, риск, критерий Сэвиджа, закупка, сырье

**Цитирование:** Марон А.И., Марон М.А., Казьмина А.А. Оптимальная стратегия закупок сырья, минимизирующая ценовые риски предприятия // Бизнес-информатика. 2024. Т. 18. № 2. С. 67–77. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.2.67.77

## Введение

Затраты на закупку зерна являются основной составляющей себестоимости продукции на заводах, производящих продукцию из него. Так, у одного из крупнейших спиртзаводов России более 60% от конечной себестоимости спирта определяется закупочной ценой зерна [1]. Волатильность цен влечет за собой неопределенность будущих доходов [2]. Цены не только на зерно, но и вообще на производственное сырье более волатильные, чем обменный курс и процентные ставки [3]. Начиная с 2000 года, колебания этих цен стремительно возрастали. Несмотря на то, что проблема нестабильности цен влияет на многие сектора экономики, одним из самых волатильных сегментов является сегмент зерновых культур. Если исторически волатильность в ценах на зерно стабильно составляла в среднем 19,7%, то в период с 2006 по 2011 годы данный показатель достиг экстремально высоких значений от 30 до 50% [4]. По большей части это вызвано сильной взаимосвязью данного риска с экономической ситуацией в мире. Экстремальные погодные условия, политическая нестабильность, колебания курсов валют – факторы, влияющие на ценообразование на рынке первичного сырья. По результатам исследований международной британской компании Aop риск, связанный с волатильностью цен, с 2013 года вернулся в десятку самых опасных рисков для компании [5]. На 2019 год 45% респондентов отметили, что они понесли убыток, связанный с данным риском. Остро встал вопрос разработки новых методологий управления данным риском, что является актуальной темой исследований в области бизнес-информатики. Теоретические результаты таких исследований – основа для разработки и внедрения рекомендательных информационно-аналитических систем, учитывающих ценовые риски.

В условиях неопределенности и необъемлемого количества факторов, влияющих на изменение цен, цель компаний – это построение такой модели закупок сырья, при которой минимизируется влияние экзогенных факторов волатильности цен на общие затраты.

До построения и анализа математических моделей определения оптимального плана закупок необходимо точно классифицировать риск, связанный с волатильностью цен, а также выявить общие стратегии для его минимизации. Данный риск можно рассматривать как финансовый, так как он оказывает значительное влияние на экономические показатели компании, а также на денежный поток [6]. Для борьбы с данным риском выделяют три основных стратегии: стратегии поиска, стратегии заключения контрактов и финансовые стратегии [7]. При применении первой стратегии компания может повлиять на время закупки и количество закупаемого сырья, чтобы минимизировать влияние волатильности цен. Второй подход подразумевает заключение априорных контрактов с поставщиками на случай резкого изменения цен. В финансовых стратегиях используются такие биржевые производные инструменты, как фьючерсы и опционы.

Рассмотрим подходы к определению сроков и объемов закупки сырья для производственных компаний. Этому вопросу посвящено значительное количество работ. Их тематику можно разбить на следующие группы.

К первой группе отнесем работы, посвященные определению периодичности и объемов закупок, при которых требования по объему производства удовлетворены, а затраты минимальны. Это работы по управлению запасами. Постановка этих задач постепенно усложнялась от постоянного спроса к переменному [8], от конечного к бесконечному плановому периоду [9]. Соответственно, снималось все больше ограничений, и модель управления запасами приближалась к реальной ситуации [10]. Не все ограничения можно снять при аналитическом решении, поэтому для учета большого числа факторов для решения задач управления запасами применялось имитационное моделирование. Основной парадигмой имитационного моделирования при решении задач управления запасами является системная динамика и агентное моделирование.

Ко второй группе можно отнести работы, в которых предлагается принимать решения о времени

и объемах закупок на основании прогнозов цен на закупаемые товары. Большинство этих работ относится к биржевым товарам и инструментам. Здесь можно выделить два основных направления: фундаментальный анализ и технический анализ [11]. Фундаментальный анализ предполагает анализ общих макроэкономических факторов и отраслевых факторов [12]. Выводы, следующие из фундаментального анализа основаны на экономической теории. Вместе с тем менеджер, отвечающий за закупку сырья, как правило, имеет очень небольшой временной диапазон, в течение которого он должен совершить покупку. В то же время фундаментальный анализ предполагает сложный анализ большого числа факторов и, что самое главное, обладает недостаточной точностью для принятия решения о выборе момента покупки биржевого товара при небольшом допустимом временном диапазоне изменения этого момента.

Технический анализ — это попытка предсказать будущее на основе прошлого, принимая во внимание поведение игроков на рынке [13]. Аппарат технического анализа очень разнообразен: в нем используются как простой визуальный метод, так и самый сложный численный метод последовательных приближений — нейронные сети [14]. В первую очередь, технический анализ применяется при работе на фондовых и валютных рынках. Многие исследователи относятся к техническому анализу скептически: они ставят под сомнение возможность предсказания будущего по прошлому без убедительного объяснения возможности такого прогноза [15].

Рассмотрим ситуацию, характерную для предприятий — переработчиков зерна. Известно, сколько зерна надо закупить за месяц. Покупку можно совершить в начале месяца и в середине месяца. Цена в начале месяца менеджеру, ответственному за закупку, известна, однако цена в середине месяца неизвестна. Возникают три варианта: менеджер может купить все необходимое количество зерна в начале месяца, менеджер может купить все необходимое количество зерна в середине месяца, либо он может купить определенную часть от необходимого количества по известной цене в начале месяца, а в середине месяца докупить оставшееся необходимое количество по той цене, которая будет. Менеджер должен решить, какой вариант выбрать. Если бы менеджер знал, что к середине месяца цена зерна поднимется, то он бы выбрал первый вариант. Если бы он знал, что цена уменьшится, то он бы выбрал второй вариант. Поскольку цена в середи-

не месяца неизвестна, то третий вариант, также является конкурентноспособным методом минимизации лишних затрат. Для осуществления выбора надо дать оценку возможному значению цены зерна в середине месяца.

При этом возникает вопрос о том, какое количество зерна закупить в начале месяца. Для зерна существует ряд факторов, которые делают прогнозирование его цены на основе числовых рядов цен за прошлые годы достаточно обоснованным. Это хорошо изученный спрос и сезонность [16]. Сезонность позволяет прогнозировать текущее значение цены на зерно на середину месяца как среднее значение цен в этом месяце в предыдущие годы. На вопрос о том, сколько значений брать для более точного прогноза, разные исследователи отвечают по-разному [17]. Достаточно устойчивым можно считать мнение, что для прогноза цен на зерно следует ориентироваться на небольшое число лет (до 10 лет), предшествующих рассматриваемому году. Иногда берут в расчет более длинный период, но значениям, ближайшим к рассматриваемому году, придают большие веса. Альтернативным прогнозу по среднему является подход предсказания цены на середину месяца методом экстраполяции [18]. При этом используются различные экстраполирующие функции [19]. Наиболее часто используются экспоненциальное экстраполирование и использование полиномов. К экстраполированию прибегают, когда исследователь предполагает, что данный год существенно отличается от предыдущих. Если же необходимо учитывать политические факторы, не имеющие прямых аналогов в прошлом, то наиболее приемлемым является применение экспертных оценок.

Авторы указанных выше работ, предлагающих принимать решения на основе прогноза, предлагают прогнозировать будущее значение цены как точки. При этом указывается, что прогноз имеет погрешность, то есть предполагаемое значение истинной цены принадлежит определенному отрезку. Величина этого отрезка определяется по-разному. Так, при применении прогнозирования по среднему делается предположение, что отклонения прогноза имеют нормальное распределение, что еще надо проверять в каждом конкретном случае. Несмотря на замечание об интервале значений, для принятия решения используется именно единичное спрогнозированное значение. Если оно больше известного, то покупаем все по известной цене. Если меньше, то ждем.

В работе [20] рассмотрена задача продажи евро для получения заданной суммы в рублях при условии, что эту операцию можно осуществить в два момента времени. В первый из них курс известен, а во второй нет. Найдено значение средств, которое надо продать по известному курсу, чтобы минимизировать максимальный риск конвертации. Риск определяется по Сэвиджу. Это разность между суммой того, что мы потратим, продав определенную сумму в евро по известному курсу, а оставшаяся часть по тому курсу, который будет, и минимальной суммой, которую мы могли бы потратить, если бы знали каким будет курс во второй момент времени. В формуле для расчета непосредственно участвуют границы, в которых предполагается нахождение неизвестного нам курса во второй момент времени. В работе [21] этот подход распространен на случай, когда приходится проводить двойную конвертацию. Подход, предложенный в работе [20] для конвертации валюты, применим и к другим товарам при решении задачи о том, какое количество товара надо продать по известной цене, чтобы получить заданную сумму денег, и при этом минимизировать максимальный риск лишних затрат. Непосредственное использование границ изменения цены при выборе решения представляется более обоснованным, чем ориентация на единичное значение. Будущее значение цены – это непрерывная случайная величина. Вероятность того, что она примет конкретное значение равна нулю. Вероятность попадания значения этой величины в отрезок уже не нулевая. Потенциально этот факт делает подход, основанный на непосредственном использовании границ возможного изменения цены, при решении указанной задачи, более обоснованным, чем расчеты, основанные на единичном прогнозируемом значении цены в будущем.

## 1. Методология

В качестве целевой функции при выборе количества зерна, закупаемого по известной цене, примем риск лишних затрат на закупку (РЛЗ). Этот риск равен разности между суммой денежных средств, которую мы потратим, купив в начале месяца определенное количество зерна по известной цене, а оставшаяся часть по той цене, которая будет в середине месяца, и минимальной суммой, которую мы могли бы потратить, если бы знали каким будет цена в зерна в середине месяца. Максимум этого риска надо минимизировать. Критерий минимума

максимального риска – это критерий Сэвиджа. Соответственно, результаты, приведенные ниже, опираются на методы теории статистических решений. Для оценки эффективности предложенного подхода используются имеющиеся данные о ценах на зерно, индексы цен на зерно, а также индексы цен на сельскохозяйственную продукцию [22].

## 2. Результаты

### 2.1. Математическая постановка задачи

Компания должна закупить зерно в количестве  $V$  единиц в месяц. Закупку можно производить в начале и в середине месяца. Цена в начале месяца  $C_1$  известна. Цена в середине месяца  $C_2$  неизвестна. Предполагается, что она будет находиться в диапазоне  $[C_{min}; C_{max}]$ .

Требуется определить количество зерна  $x^*$ , которое следует закупить в начале месяца, с тем чтобы максимум РЛЗ был минимален.

### 2.2. Решение

Пусть  $x$  – сумма, на которую производится закупка в начале месяца. Тогда сумма  $F(x, V)$ , которую придется потратить, чтобы купить  $V$  единиц зерна, равна

$$F(x, C_2) = x + \left( V - \frac{x}{C_1} \right) C_2. \quad (1)$$

Для определения функции, описывающей максимальный риск, необходимо рассмотреть два возможных случая соотношения цен  $C_1$  и  $C_2$ .

Если бы было заранее известно, что  $C_2 \geq C_1$ , тогда закупку необходимо было бы осуществить на сумму  $x_1 = C_1 V$  в начале месяца. Риск в данном случае равен разности реальных затрат  $F(x, V)$  и минимально возможных:

$$R_1(x, C_2) = x + \left( V - \frac{x}{C_1} \right) C_2 - C_1 V. \quad (2)$$

В выражении (2) третье слагаемое постоянно. Дробь, вычитаемая из  $V$  во втором слагаемом, его не превосходит. Следовательно, второе слагаемое в (2) неотрицательно. Соответственно, при фиксированном  $x$  риск  $R_1(x, C_2)$  достигает максимального значения при  $C_2 = C_{max}$ . Выражение (2) можно записать в виде

$$R_1(x, C_2) = x \left( 1 - \frac{C_2}{C_1} \right) + V(C_2 - C_1). \quad (3)$$

Подставив в (3)  $C_2 = C_{max}$ , получим выражение максимального риска при  $C_2 \geq C_1$ :

$$R_{1max}(x) = x \left( 1 - \frac{C_{max}}{C_1} \right) + V(C_{max} - C_1). \quad (4)$$

Дробь, вычитаемая из единицы в первом слагаемом (3), меньше 1. Соответственно, в (4) коэффициент при  $x$  отрицателен. Второе слагаемое – свободный член положителен. Из выражения (4) следует, что при  $C_2 \geq C_1$  максимальный риск  $R_{1max}(x, C_2)$  убывает с ростом  $x$ . При  $x = 0$  достигается максимальное значение:

$$R_{1max}^{max} = V(C_{max} - C_1). \quad (5)$$

С ростом  $x$  максимальный риск уменьшается до 0 при  $x = C_1 V$ .

Если  $C_2 < C_1$  выгодно осуществлять всю закупку в середине месяца на сумму  $x_2 = C_2 V$ . Риск в данном случае равен

$$R_2(x, C_2) = x + \left( V - \frac{x}{C_1} \right) C_2 - C_2 V = x \left( 1 - \frac{C_2}{C_1} \right). \quad (6)$$

В (6) дробь, вычитаемая из единицы, ее не превосходит. Эта дробь минимальна при  $C_2 = C_{min}$ . Следовательно, при фиксированном  $x$  максимум риска будет при  $C_2 = C_{min}$ . Имеем

$$R_{2max}(x) = x \left( 1 - \frac{C_{min}}{C_1} \right). \quad (7)$$

При  $x = 0$  этот максимальный риск равен 0. С ростом  $x$  он возрастает и достигает при  $x = C_1 V$  максимального значения:

$$R_{2max}^{max} = V(C_1 - C_{min}). \quad (8)$$

Максимум максимального риска операции по закупки зерна, при условии, что  $C_2 \in [C_{min}; C_{max}]$ , равен наибольшему из значений, определяемых по формулам (5), (8). В случае, когда предполагаемый отрезок возможных значений  $C_2$  симметричен относительно  $C_1$ , значения, определяемые этими формулами, совпадают. В этом случае, обозначив, через  $d$  половину длины отрезка предполагаемого возможного изменения цены, получим следующее выражение для максимума максимального риска:

$$R_{max}^* = Vd. \quad (9)$$

На основании проведенного анализа двух возможных соотношений между  $C_1$  и  $C_2$  имеем, что максимальный риск при покупке зерна равен

$$R(x) = \begin{cases} R_{1max}(x), & \text{если } C_1 \leq C_2 \\ R_{2max}(x), & \text{если } C_1 > C_2. \end{cases} \quad (10)$$

Будем увеличивать  $x$  от  $x = 0$  до  $x_1 = VC_1$ . При  $x = 0$ , в соответствии с формулами (4) и (7),  $R_{1max}(0)$  положительно, а  $R_{2max}(0) = 0$ , то есть  $R_{1max}(x) > R_{2max}(x)$ . С ростом  $x$  значение  $R_{1max}(x)$  убывает, а  $R_{2max}(x)$  возрастает. Соответственно, в начале максимальное значение риска определяется прямой  $R_{1max}(x)$  и убывает, до тех пор, пока соответствующие прямые не пересекутся в точке  $x^*$ , где

$$x \left( 1 - \frac{C_{max}}{C_1} \right) + V(C_{max} - C_1) = x \left( 1 - \frac{C_{min}}{C_1} \right). \quad (11)$$

Это точка

$$x_1^* = \frac{C_1(C_{max} - C_1)}{(C_{max} - C_{min})} V. \quad (12)$$

При дальнейшем увеличении  $x$ , когда  $x$  становится больше  $x^*$ ,  $R_{1max}(x)$  оказывается меньше, чем  $R_{2max}(x)$ . Соответственно, максимальный риск возрастает, но теперь его значения определяется прямой  $R_{2max}(x)$ .

Следовательно, точка  $x_1^*$  является искомым значением, при котором максимальный риск минимален.

Оптимальная стратегия, которая позволяет минимизировать максимальный риск, заключается в следующем:

- ♦ в начале месяца по цене  $C_1$  осуществляется покупка зерна на сумму  $x_1^*$ , которая определяется по формуле (12);
- ♦ в середине месяца зерно докупается по той фактической цене  $C_p$ , которая будет на момент покупки, в количестве

$$V_2 = V - \frac{x_1^*}{C_1}. \quad (13)$$

### 3. Обсуждение и пример

Найденное значение  $x_1^*$  гарантирует минимум максимального риска при условии, что  $C_2 \in [C_{min}; C_{max}]$ . Однако фактическое значение цены в середине месяца может и не находиться в

этих предполагаемых границах. Поэтому необходимо исследовать на основании ретроспективных данных насколько в действительности эффективна предложенная стратегия. Назовем ее интервальной стратегией (ИС). Для этого сравним ее со стратегией, основанной на прогнозе цены в середине месяца (стратегия прогноза цены, СПЦ). Эта стратегия такова:

- ◆ Если прогнозируемое значение цены  $C_p \geq C_1$ , то осуществляем закупку всего необходимого количества  $V$  зерна, в начале месяца по цене  $C_1$ .
- ◆ Если прогнозируемое значение цены  $C_p < C_1$ , то осуществляем закупку всего необходимого количества  $V$  зерна, в середине месяца по той по той фактической цене  $C_f$ , которая будет на момент покупки.

Заметим, что для применения ИС необходимо определить границы:  $C_{min}$  и  $C_{max}$ . Если их прогнозные значения таковы, что  $C_1 \notin [C_{min}; C_{max}]$ , то действия, предписываемые ИС совпадают с действиями по СПЦ.

Сравнение выполним по ретроспективным данным на примере ежемесячной закупки кукурузы в течение года. При этом будем сравнивать эти стратегии по двум критериям:

- 1) минимума максимального риска;
- 2) минимума годовых суммарных затрат на закупку.

Менеджер ориентируется на второй критерий, если компания проводит ежемесячные закупки зерна и имеет достаточно средств, чтобы не пострадать от больших излишних затрат, которые могут возникнуть при одной или нескольких закупках. Первый критерий применим, если это не так, и лишние траты даже при одной закупке не должны быть слишком велики. Понятно, что менеджер, ответственный за закупку, хочет, чтобы его действия были оптимальны по обоим критериям, но это невозможно, и приходится искать баланс. Будем учитывать это при сравнении стратегий.

Для сравнения стратегий применим их к закупке кукурузы в 2021 и 2022 годах. Эти годы существенно отличаются количеством месяцев, в которых менялось соотношение между ценами в начале и середине месяца. Это соотношение имеет принципиальное значение для результатов при применении обеих стратегий. В десяти месяцах 2022 года цена в начале месяца была меньше, чем в середине месяца, и только в двух больше. В 2021 году это соотношение было 7 и 5.

Ретроспективные цены на кукурузу взяты из [22]. Для приведения цен за прошлые годы к исследуемым годам использованы индексы цен на зерно и индексы цен на сельскохозяйственную продукцию [22]. Цена зерна в середине месяца и границы возможного изменения этой цены могут быть спрогнозированы различными методами. Авторы исходили из того, что практическая реализация метода прогнозирования должна быть осуществима с помощью доступных менеджеру программных инструментов, таких как Excel или MathCad. В результате были выбраны прогнозирование по среднему и экспоненциальная экстраполяция. В первом случае прогнозируемое значение цены в середине каждого месяца исследуемого года находилось как среднее значение сопоставимых цен в те же месяцы шести предшествующих лет. При экстраполяции использовались данные за 10–15 торговых дней, предшествующих началу месяца. Для получения сопоставимых цен использована индексация. Поскольку в [22] индексы цен приведены относительно базового 1982 года, то пришлось делать перерасчет.

Был принят следующий алгоритм сравнения.

1. Определить метод прогнозирования цены в середине месяца, для которого при стратегии СПЦ суммарные годовые затраты минимальны.
2. Сравнить эти наилучшие результаты СПЦ с результатами, которые дает ИС при различных подходах определения границ возможного изменения цены в середине месяца.

На первом этапе было установлено, что наилучший результат достигается при прогнозировании по среднему с использованием цен, индексируемых на основании индексов цен именно на зерно, а не на сельскохозяйственную продукцию в целом. Причем это верно для обоих рассматриваемых годов.

На втором этапе рассматривались следующие варианты определения границ.

1. В каждом месяце в качестве границ принимается отрезок с серединой в точке прогноза по среднему  $C_p$ , границы которого отстоят от  $C_p$  на доверительный интервал прогноза при заданной доверительной вероятности. Рассмотрены значения доверительной вероятности 0,95 и 0,99.
2. В каждом месяце в качестве границ принимается отрезок с серединой в точке прогноза по среднему  $C_p$  для этого месяца, границы которого отстоят от  $C_p$  на максимальный диапазон изменения цены в этом месяце за предыдущие шесть лет с учетом индексации цен.

3. В каждом месяце в качестве границ принимается отрезок с серединой в точке прогноза по среднему  $C_p$  для этого месяца, границы которого отстоят от  $C_p$  на средний диапазон изменения цены в этом месяце за предыдущие шесть лет с учетом индексации цен.
4. В каждом месяце границы цены в середине месяца определяются на основании данных предыдущего года. Левая граница меньше, чем  $C_1$  на максимальное уменьшение цены в середине месяца относительно начала, зафиксированное в один из дней аналогичного месяца прошлого года. Правая граница больше  $C_1$  на максимальное увеличение цены в середине месяца относительно начала, зафиксированное в один из дней аналогичного месяца прошлого года.
5. Границы определяются на основании максимальных отклонений за предыдущие шесть лет, аналогично тому, как указано в пункте 4.

Кроме того, рассматривались симметричные относительно  $C_1$  границы, в вариантах аналогичных указанным выше в пунктах 2–3. Заметим, что при границах симметричных относительно  $C_1$  и  $C_1 \in [C_{min}; C_{max}]$ , значение  $x_1^*$  предлагает разбиение закупок на две одинаковые партии.

В результате установлено, что во всех случаях ИС по сравнению с СПЦ обеспечивает минимум максимального риска как для изменчивого 2021 года, так и года 2022 года. Заметим, что менеджер, предположив наличие в 2022 году устойчивой тенденции и приняв безальтернативно стратегию СПЦ, допустил бы в одном из месяцев большие лишние затраты. Применение же ИС лишь незначительно увеличило бы годовые затраты, но существенно снизило максимальный риск (таблица 1).

В результате анализа результатов проведенных расчетов установлен следующий важный факт. Устойчивые по годам лучшие результаты в смысле компромисса двух критериев дает применение ИС с вариантом определения границ, указанным в пункте 1 при доверительной вероятности 0,99.

### Заключение

В результате проведенного исследования получены следующие основные научные результаты.

- ♦ Впервые решена задача минимизации максимального риска при закупке сырья для перерабатывающего предприятия.
- ♦ Авторы вывели функциональную зависимость максимального риска от количества закупаемого сырья на начало месяца. В результате удалось установить количество сырья, при покупке которого в начале месяца максимальный риск будет минимальным.

Результаты применены для разработки стратегии закупок сырья одним из крупнейших ликероводочных заводов России.

Дальнейшим направлением исследования может стать анализ того, каким образом лучше предсказывать границы цены в середине месяца — с помощью экспертов, либо по временным рядам цен [23, 24], либо путем комбинации этих методов [25]. Другим важным направлением дальнейших исследований является учет большого числа факторов, влияющих на волатильность цен на сырье, с помощью имитационного моделирования [26, 27]. ■

Таблица 1.

Суммарные затраты и максимальный риск

Критерий	Сумма (руб.)		Максимальный риск (руб.)	
	ИС	СПЦ	ИС	СПЦ
год\стратегия				
2022	24 633 961	24 624 450	56 286	93 000
2021	20 559 750	20 620 885	106 648	112 500

## Литература

1. Официальный веб-сайт / АО «Амбер Талвис», 2024. [Электронный ресурс]: <https://ambertalvis.ru/ru/> (дата обращения 27.04.2024).
2. Basili M., Chateaneuf A., Fontini F. Precautionary principle as a rule of choice with optimism on windfall gains and pessimism on catastrophic losses // *Ecological Economics*. 2008. Vol. 67. No. 3. P. 485–491. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.030>
3. Bartram S.M. The impact of commodity price risk on firm value – An empirical analysis of corporate commodity price exposures // *Multinational Finance Journal*. 2005. Vol. 9. No. 3/4. P. 161–187. <https://doi.org/10.17578/9-3/4-2>
4. Karali B., Power G.J. Short- and long-run determinants of commodity price volatility // *American Journal of Agricultural Economics*. 2013. Vol. 95. No. 3. P. 724–738. <https://doi.org/10.1093/ajae/aas122>
5. Managing risk: How to maximize performance in volatile times // Aon plc., 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.aon.com/2019-top-global-risks-management-economics-geopolitics-brand-damage-insights/index.html> (дата обращения 27.04.2024).
6. Allen S.L. Financial risk management: A practitioner's guide to managing market and credit risk, 2nd Edition. New York: Wiley & Sons, 2012.
7. Gaudenzi B., Zsidisin G.A., Hartley J.L., Kaufmann L. An exploration of factors influencing the choice of commodity price risk mitigation strategies // *Journal of Purchasing and Supply Management*. 2018. Vol. 24. No. 3. P. 218–237. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2017.01.004>
8. Arrow K.J., Harris T., Marschak J. Optimal inventory policy // *Econometrica*. 1951. Vol. 19. No. 3. P. 250–272. <https://doi.org/10.2307/1906813>
9. Kalyon B.A. Stochastic prices in a single-item inventory purchasing model // *Operations Research*. 1971. Vol. 19. No. 6. P. 1434–1458. <https://doi.org/10.1287/opre.19.6.1434>
10. Magirou V.F. Stockpiling under price uncertainty and storage capacity constraints // *European Journal of Operational Research*. 1982. Vol. 11. No. 3. P. 233–246.
11. Dominiak C. Multicriteria decision aiding procedure under risk and uncertainty // *Multiple criteria decision making '08* (ed. T. Trzaskalik). Karol Adamiecki University of Economics in Katowice. 2009. P. 61–88.
12. Dunsby A., Eckstein J., Gaspar J., Mulholland S. Commodity investing: Maximizing returns through fundamental analysis. New York: Wiley Finance, 2008.
13. Bettman J.L., Sault S., Welch E. Fundamental and technical analysis: Substitutes or complements? // *Accounting and Finance*. 2006. Vol. 49. No. 1. P. 21–36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-629X.2008.00277.x>
14. Fabozzi F., Peterson F. Financial management and analysis. New York: Wiley & Sons, 2003.
15. Fama E.F., French K.R. Profitability, investment and average returns // *Journal of Financial Economics*. 2006. Vol. 82. No. 3. P. 491–518. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2005.09.009>
16. Piot-Lepetit I., M'Barek R. Methods to analyze agricultural commodity price volatility. New York: Springer, 2011. P. 1–11. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7634-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7634-5_1)
17. Sellam V., Poovammal E. Prediction of crop yield using regression analysis // *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9. No. 38. P. 1–5. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i38/91714>
18. Armstrong J.S. Forecasting by extrapolation: Conclusions from 25 years of research // *Interfaces*. 1984. Vol. 14. No. 6. P. 52–66. <https://doi.org/10.1287/inte.14.6.52>
19. Demidovich B.P., Maron I.A. Computational Mathematics. Moscow: MIR, 1981.
20. Maron A., Maron M. Minimizing the maximum risk of currency conversion for a company buying abroad // *European Research Studies Journal*. 2019. Vol. 22. No. 3. P. 59–67.
21. Maron A., Maron M. Formulation of agile business rules for purchasing control system components process improvement // *Model-Driven Organizational and Business Agility. MOBA 2022. Lecture Notes in Business Information Processing* (eds. E. Babkin, J. Barjis, P. Malyzhenkov, V. Merunka). 2022. Vol. 457. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-17728-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-17728-6_4)
22. FRED, Federal Reserve Economic Data // Federal Reserve Bank of St. Louis, 2024. [Электронный ресурс]: <https://fred.stlouisfed.org> (дата обращения 27.04.2024).
23. Popov G., Magomedov S. Comparative analysis of various methods treatment expert assessments // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2017. Vol. 8. No. 5. P. 35–39. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.080505>
24. Colnet B. et al. Causal inference methods for combining randomized trials and observational studies: A review // *Statistical Science*. 2024. Vol. 39. No. 1. P. 165–191. <https://doi.org/10.1214/23-STS889>
25. Isaev D., Bruskin S. Determining the product mix using multi-criteria decision making // *Proceedings of the XXIII International Conference "Enterprise Engineering and Knowledge Management" (EEKM 2020), Moscow, Russia, 8–9 December 2020*. Ch. 29. P. 296–303. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2919.
26. Akopov A.S., Beklyaran A., Zhukova A. Optimization of characteristics for a stochastic agent-based model of goods exchange with the use of parallel hybrid genetic algorithm // *Cybernetics and Information Technologies*. 2023. Vol. 23. No. 2. P. 87–104. <https://doi.org/10.2478/cait-2023-0015>
27. Zhukova A. Model of the manufacturer's behavior when obtaining loans and making investments at random moments in time // *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2020. Vol. 12. No. 6. P. 933–941. <https://doi.org/10.1134/S2070048220060186>

## Об авторах

### Марон Аркадий Исаакович

к.т.н., с.н.с.;

доцент, департамент прикладной математики, Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Россия, 123458, г. Москва, ул. Таллинская, д. 34;

E-mail: amaron@hse.ru

ORCID: 0000-0003-4443-3329

### Марон Максим Аркадьевич

к.ф.-м.н.;

старший системный аналитик, банк «Цифра банк», Россия, 127006, г. Москва, ул. Каретный ряд, д. 5/10, строение 2;

E-mail: maxxx-fizik@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8337-5099

### Казьмина Анастасия Анатольевна

аспирант, кафедра промышленного и системного инжиниринга, Корейский передовой институт науки и технологий (КАИСТ), 34141, Республика Корея, г. Тэджон, 291 Дэхак-ро, Юсон-гу;

E-mail: anastasiaka@kaist.ac.kr

ORCID: 0009-0002-3753-7429

# An optimal raw material procurement strategy that minimizes enterprise price risks

## Arkadiy I. Maron<sup>a</sup>

E-mail: amaron@hse.ru

## Maxim A. Maron<sup>b</sup>

E-mail: maxxx-fizik@mail.ru

## Anastasiia A. Kazmina<sup>c</sup>

E-mail: anastasiaka@kaist.ac.kr

<sup>a</sup> HSE University, Moscow, Russia

<sup>b</sup> Cifra Bank LLC, Moscow, Russia

<sup>c</sup> Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Korea

## Abstract

This article is devoted to the problem of theoretical and information support for decision-making in strategic management of raw material procurement processes. The study is timely, because there is currently significant volatility in prices for raw materials. This poses very difficult challenges for managers. Finding solutions is one of the most important areas of business informatics. This article discusses a procurement strategy in two stages: at the beginning and middle of the month. The price of raw materials is known only at the beginning of the month. Price is a continuous random variable. You can predict only the interval of its change. Here the interval is directly used to determine the purchase volume at a known price. The authors derived a functional dependence of the maximum risk according to Savage on the amount of purchased raw materials at the beginning of the month. As a result, it was possible to establish the amount of raw materials to be purchased at the beginning of the month to reduce maximum risk to a minimum. Using the example of corn purchases, we carried out a comparative analysis of possible methods for determining these intervals based on an analysis of price time series. The findings are useful for managers of processing enterprises. This work is the first to solve the problem of minimizing the maximum risk when purchasing raw materials.

**Keywords:** statistical decision theory, risk, Savage criterion, raw material procurement

**Citation:** Maron A.I., Maron M.A., Kazmina A.A. (2024) Optimal raw material procurement strategy that minimizes enterprise price risks. *Business Informatics*, vol. 18, no. 2, pp. 67–77. DOI: 10.17323/2587-814X.2024.2.67.77

## References

1. JSC “Amber Talvis” (2024) *Official website*. Available at: URL: <https://ambertalvis.ru/en/> (accessed 27 April 2024).
2. Basili M., Chateauneuf A., Fontini F. (2008) Precautionary principle as a rule of choice with optimism on windfall gains and pessimism on catastrophic losses. *Ecological Economics*, vol. 67, no. 3, pp. 485–491. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.030>
3. Bartram S.M. (2005) The impact of commodity price risk on firm value – An empirical analysis of corporate commodity price exposures. *Multinational Finance Journal*, vol. 9, no. 3/4, pp. 161–187. <https://doi.org/10.17578/9-3/4-2>
4. Karali B., Power G.J. (2013) Short- and long-run determinants of commodity price volatility. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 95, no. 3, pp. 724–738. <https://doi.org/10.1093/ajae/aas122>
5. Aon plc. (2019) *Managing risk: How to maximize performance in volatile times*. Available at: <https://www.aon.com/2019-top-global-risks-management-economics-geopolitics-brand-damage-insights/index.html> (accessed 27 April 2024).
6. Allen S.L. (2012) *Financial risk management: A practitioner's guide to managing market and credit risk, 2nd Edition*. New York: Wiley & Sons.
7. Gaudenzi B., Zsidisin G.A., Hartley J.L., Kaufmann L. (2018) An exploration of factors influencing the choice of commodity price risk mitigation strategies. *Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 24, no. 3, pp. 218–237. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2017.01.004>
8. Arrow K.J., Harris T., Marschak J. (1951) Optimal inventory policy. *Econometrica*, vol. 19, no. 3, pp. 250–272. <https://doi.org/10.2307/1906813>
9. Kalyon B.A. (1971) Stochastic prices in a single-item inventory purchasing model. *Operations Research*, vol. 19, no. 6, pp. 1434–1458. <https://doi.org/10.1287/opre.19.6.1434>
10. Magirou V.F. (1982) Stockpiling under price uncertainty and storage capacity constraints. *European Journal of Operational Research*, vol. 11, no. 3, pp. 233–246.
11. Dominiak C. (2009) Multicriteria decision aiding procedure under risk and uncertainty. *Multiple criteria decision making' 08* (ed. T. Trzaskalik). Karol Adamecki University of Economics in Katowice, pp. 61–88.
12. Dunsby A., Eckstein J., Gaspar J., Mulholland S. (2008) *Commodity investing: Maximizing returns through fundamental analysis*. New York: Wiley Finance.
13. Bettman J.L., Sault S., Welch E. (2006) Fundamental and technical analysis: Substitutes or complements? *Accounting and Finance*, vol. 49, no. 1, pp. 21–36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-629X.2008.00277.x>
14. Fabozzi F., Peterson F. (2003) *Financial management and analysis*. New York: Wiley & Sons.
15. Fama E.F., French K.R. (2006) Profitability, investment and average returns. *Journal of Financial Economics*, vol. 82, no. 3, pp. 491–518. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2005.09.009>
16. Piot-Lepetit I., M'Barek R. (2011) *Methods to analyze agricultural commodity price volatility*. New York: Springer, pp. 1–11. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7634-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7634-5_1)

17. Sellam V., Poovammal E. (2016) Prediction of crop yield using regression analysis. *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9, no. 38, pp. 1–5. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i38/91714>
18. Armstrong J.S. (1984) Forecasting by extrapolation: Conclusions from 25 years of research. *Interfaces*, vol. 14, no. 6, pp. 52–66. <https://doi.org/10.1287/inte.14.6.52>
19. Demidovich B.P., Maron I.A. (1981) *Computational Mathematics*. Moscow: MIR.
20. Maron A., Maron M. (2019) Minimizing the maximum risk of currency conversion for a company buying abroad. *European Research Studies Journal*, vol. 22, no. 3, pp. 59–67.
21. Maron A., Maron M. (2022) Formulation of agile business rules for purchasing control system components process improvement. *Model-Driven Organizational and Business Agility. MOBA 2022. Lecture Notes in Business Information Processing* (eds. E. Babkin, J. Barjis, P. Malyzhenkov, V. Merunka), vol 457. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-17728-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-17728-6_4)
22. Federal Reserve Bank of St. Louis (2024) *FRED, Federal Reserve Economic Data*. Available at: <https://fred.stlouisfed.org> (accessed 27 April 2024).
23. Popov G., Magomedov S. (2017) Comparative analysis of various methods treatment expert assessments. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 8, no. 5, pp. 35–39. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.080505>
24. Colnet B. et al. (2024) Causal inference methods for combining randomized trials and observational studies: A review. *Statistical Science*, vol. 39, no. 1, pp. 165–191. <https://doi.org/10.1214/23-STS889>
25. Isaev D., Bruskin S. (2021) Determining the product mix using multi-criteria decision making. Proceedings of the *XXIII International Conference “Enterprise Engineering and Knowledge Management” (EEKM 2020), Moscow, Russia, 8–9 December 2020*, Ch. 29, pp. 296–303. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2919.
26. Akopov A.S., Beklaryan A., Zhukova A. (2023) Optimization of characteristics for a stochastic agent-based model of goods exchange with the use of parallel hybrid genetic algorithm. *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 23, no. 2, pp. 87–104. <https://doi.org/10.2478/cait-2023-0015>
27. Zhukova A. (2020) Model of the manufacturer’s behavior when obtaining loans and making investments at random moments in time. *Mathematical Models and Computer Simulations*, vol. 12, no. 6, pp. 933–941. <https://doi.org/10.1134/S2070048220060186>

### About the authors

#### Arkadiy I. Maron

Cand. Sci. (Tech.);

Associate Professor, School of Applied Mathematics, HSE Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics (MIEM HSE), 34, Tallinskaya St., Moscow 123458, Russia;

E-mail: amaron@hse.ru

ORCID: 0000-0003-4443-3329

#### Maxim A. Maron

Cand. Sci. (Phys.-Math.);

Senior System Analyst, Cifra Bank LLC, 5/10, 2, Karetny Ryad St., Moscow 127006, Russia;

E-mail: maxx-fizik@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8337-5099

#### Anastasiia A. Kazmina

PhD student, Department of Industrial & Systems Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), 291, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, Republic of Korea;

E-mail: anastasiaka@kaist.ac.kr

ORCID: 0009-0002-3753-7429