

## СТРЕССОВЫЕ СИТУАЦИИ И ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ ДЛЯ БИЗНЕСА

*Е.П. Мочалина, Mochalina.EP@rea.ru*

*Г.В. Иванкова, Ivankova.GV@rea.ru*

*Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, Москва, Россия*

**Аннотация.** В логистике широко используются методы прогнозирования, поскольку значения прогнозных оценок развития анализируемых процессов или явлений являются основой для принятия управленческих решений при оперативном, тактическом и стратегическом планировании (от оценки вероятности дефицита продукции на складе до выбора стратегии развития компании). Точность и достоверность прогноза – это гарантия эффективности выполнения поставленных задач.

Работа представляет собой исследование влияния стрессовых ситуаций на построение логистических прогнозов для бизнеса, фокусируясь на вопросе оптимизации складских запасов. Эта тема представляется авторам весьма актуальной в текущей экономической ситуации в Российской Федерации. Авторами была рассмотрена и протестирована на реальных данных крупной российской компании широко используемая модель линейной регрессии. Показана ее крайняя неэффективность для использования в ситуации стресса. Соответственно, авторами была разработана и изложена в работе собственная модель прогнозирования складских запасов (также с тестированием). Дальнейшее развитие в этом направлении подразумевает применение анализа временных рядов для усиления/поправки полученных результатов.

**Ключевые слова:** стресс, страховой запас, множественная регрессия, факторы, управление запасами

**Для цитирования:** Мочалина Е.П., Иванкова Г.В. Стрессовые ситуации и логистические прогнозы для бизнеса // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2022. Т. 16, № 2. С. 174–181. DOI: 10.14529/em220217

Original article  
DOI: 10.14529/em220217

## STRESS SITUATIONS AND LOGISTICS FORECASTS FOR BUSINESS

*E.P. Mochalina, Mochalina.EP@rea.ru*

*G.V. Ivankova, Ivankova.GV@rea.ru*

*Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia*

**Abstract.** Forecasting methods are widely used in logistics. The values of predictive estimates of the development of the analyzed processes or phenomena are the basis for decision-making in operational, tactical, and strategic planning (from assessing the likelihood of a shortage of products in a warehouse to choosing a company development strategy). The accuracy and reliability of the forecast guarantee the effectiveness of the task's implementation.

Our work is a study of the impact of stressful situations on the building logistics forecasts for business, focusing on the issue of safety stock optimization. This paper seems to the authors to be very relevant in the context of the current economic situation in the Russian Federation. The authors have reviewed and tested a widely used linear regression model on real data of a big Russian company. Its extreme inefficiency for use in a stressful situation is shown. Accordingly, the authors have developed and introduced their own forecasting model (also tested). Further development in this direction implies the use of time series analysis to improve/correct the results obtained.

**Keywords:** stress, safety stock, multiple regression, factors, stock management

**For citation:** Mochalina E.P., Ivankova G.V. Stress situations and logistics forecasts for business. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2022, vol. 16, no. 2, pp. 174–181. (In Russ.). DOI: 10.14529/em220217

**Введение**

В настоящее время существует множество специальных инструментов, позволяющих прогнозировать потоки движения товаров, рассчитывать оптимальную вместимость складов, оценивать затраты, автоматизировать потоки и так далее [1, 2]. Каждый такой конкретный инструмент в большинстве случаев может применяться только в определенной сфере и стоит дорого. Однако все эти методы и модели хороши в стабильной ситуации для решения задачи минимизации затрат при условии выстроенной логистической цепочки. Однако картина мира существенно меняется в случае разрыва цепочек поставок. Существенно в итоге то, что происходит задержка (вызванная сменой поставщика или поиском другого маршрута). Первые масштабные проблемы такого рода случились в 2020: пандемия COVID-19 (а затем и санкции) внесли много изменений.

Как известно, большая часть грузоперевозок осуществляется морским транспортом (около 60 %). Это более дешевый способ, но не слишком быстрый, конечно. Закрытие границ привело к перенаправлению используемых ресурсов на перевозку грузов. Слишком много проблем с авиарейсами, железными дорогами или любыми наземными пограничными переходами поставили на первое место контейнерные перевозки. Конец 2020 года ознаменовался несбалансированностью морских контейнерных перевозок из Китая (из-за сложности с другими видами перевозок. Следует также учитывать, что возможность повторного прохождения маршрутов ограничена. Стоимость перевозки возросла в 2–4 раза, а для срочных заказов почти в 10 раз [3].

К концу марта 2021 года цены снизились на 20–30 % по сравнению с январскими тарифами. Но в октябре китайская сторона вновь ввела дополнительные анти-COVID-меры, что привело к очередному скоплению грузовиков на границе. Например, количество грузовиков, въезжающих в Россию каждый день, превышает количество грузовиков, выезжающих из нее. Грузовикам приходится стоять в очереди несколько дней, чтобы пересечь границу. Иллюстрация этой ситуации в худшем ее проявлении случилась, например, в самом начале октября: в очередях и на въездах на КПП в Забайкальске скопилось более 1000 автомобилей [4]. Соответственно, приходится учитывать риски промедления и, увы, другого решения нет. И, таким образом, снова происходит возврат к контейнерным перевозкам. И, как следствие, этот вид транспортировки грузов все еще находится под давлением: слишком большой спрос и, как следствие, задержки.

В связи с этим была поставлена задача разработать сбалансированный и разумный подход, позволяющий достаточно точно оценить потребности для работы предприятия в условиях стресса.

Что будет способствовать достижению его эффективности.

Отметим, что исследование вопроса о разрывах в цепочке поставок – тема далеко не новая. Так, широко известна работа М. Вилсон [5], где рассматривается влияние сбоя транспортировки на производительность цепочки поставок с использованием моделирования системной динамики. В последнее время достаточно востребован стал вопрос об оценке возможного влияния разрушительных инцидентов на эффективность логистики с точки зрения участников цепочки поставок. В работе [6] с помощью моделирования структурными уравнениями и частичной регрессии методом наименьших квадратов выстроена, а затем эмпирически подтверждена модель, подтверждающая наличие четкой причинно-следственной связи между деструктивными событиями и эффективностью логистики.

Модели управления запасами в исследовательской литературе и учебниках обычно предполагают, что распределение спроса и все его параметры известны. Однако на практике такая информация недоступна, и будущие потребности приходится прогнозировать на основе исторических наблюдений. В качестве отправной точки для такого рода прогнозов может использоваться, например, модель стационарного спроса в сочетании с постоянным временем выполнения заказа [7].

Стоит также отметить работу Ло [8], представляющую модель запасов с непрерывным мониторингом, в которой время выполнения заказа, количество заказа, скидка на невыполненный заказ и фактор безопасности рассматривались как переменные решения для модели сочетания запасов невыполненных заказов и потерянных продаж. Алгоритм решения этой задачи использовался впоследствии множеством авторов для решения задачи управления запасом при стохастическом характере расхода и поставок.

В общем случае оценка требуемых страховых запасов в стохастических системах является очень сложной задачей. Ее решение с учетом стоимостных показателей и ограничений уровня обслуживания, пригодное для практического применения, может быть найдено только для очень ограниченного класса задач. Что и было сделано в работе [9]. Автор разработал мощный алгоритм динамического программирования для решения задачи оптимизации страхового запаса. Идея затем была доработана и адаптирована в [10]. Э. Гебенниния, Р. Гамбериния и Р. Манзиниб представили оригинальную модель динамической задачи размещения-распределения с контролем уровня обслуживания клиентов и оптимизацией страхового запаса.

В данной работе авторы представили результаты тестирования хорошо известных существующих моделей для решения задачи оценки потребностей предприятия в условиях стресса, а также

представили собственную альтернативную модель, позволяющую оценить стратегический запас на складе, обеспечивающий его бесперебойную работу. Идея заключалась в том, чтобы определить ключевые параметры, применить их к известным алгоритмам, найти узкие места и проиллюстрировать результаты на реальных примерах.

#### Теоретические основы исследования

В основе решения классической экономической задачи о количестве заказов лежит предположение, что спрос постоянен, непрерывен, а также известна скорость его изменения в течение бесконечного горизонта планирования. Кроме того, структура затрат остается неизменной на этом горизонте [11]. Поскольку спрос не зависит от времени, его отклонение по времени выполнения заказа для этой модели легко получить путем умножения времени выполнения заказа на отклонение спроса за период. Хорошо известно, что для нормально распределенного спроса страхового запаса, необходимый для получения определенного уровня обслуживания, получается путем умножения стандартного отклонения спроса времени выполнения заказа на некоторый коэффициент запаса [12]. На практике, однако, эти результаты никогда не могут быть применены напрямую, поскольку среднее значение и дисперсия спроса за период неизвестны и их необходимо прогнозировать.

Если спрос и время выполнения заказов непостоянны, то традиционно полагается, что требуются значительные страховые запасы, чтобы гарантировать своевременное производство и поставку конечного продукта. Известные стандартные модели для определения соответствующего уровня страхового запаса по факту могут привести к большему страховому запасу на уровне компонентов и готовой продукции, чем необходимо, и, таким образом, привести к более высоким затратам на хранение (чем хотелось бы). Соответственно, результатом борьбы с этим явлением является множество исследований (и, как результат – моделей и подходов) [13, 14], в которых подчеркивается, что основной целью управления запасами является минимизация стоимости, вложенной в запасы, поскольку это оказывает прямое влияние на рентабельность активов. Посмотреть на этот вопрос под другим углом позволяет работа [15]. Авторы утверждают, что фактическая цель управления запасами состоит в том, чтобы определить стоимость и набор запасов, которые поддерживают высокий уровень обслуживания клиентов и максимизируют финансовые показатели компаний. Соответственно, оптимизация в таком направлении страхового запаса позволит компаниям добиться экономии и увеличить оборачиваемость запасов.

Для начала рассмотрим, как работает на практике классическая модель линейной регрессии. Причем рассмотрим два варианта: наличие и отсутствие стрессовой ситуации. Заметим, что при

таком подходе затем для повышения точности прогноза (если это требуется) можно будет использовать различные методы, наиболее известным из которых является *метод экспоненциального сглаживания*.

Пусть уравнение тренда  $\bar{y}_t$  имеет вид линейной регрессии:

$$\bar{y}_t = a_0 + a_1 t,$$

где коэффициенты  $a_0$  и  $a_1$  рассчитываются на основе МНК (метод наименьших квадратов). Для оценки границ доверительного интервала прогноза затем необходимо будет рассчитать стандартное отклонение  $\sigma_t$ . И далее на основании полученных зависимостей  $\bar{y}_t$  и  $\sigma_t$  станет возможным построение прогнозных оценок среднего времени потребления текущего запаса  $\bar{T}$  и страхового запаса на складе  $y_s$  (с наперед заданной доверительной вероятностью  $\beta$ ):

$$\bar{T} = -\frac{a_0}{a_1}, y_s = \sigma_t \cdot t_\beta,$$

где  $t_\beta$  – квантиль нормального распределения, соответствующая доверительной вероятности  $\beta$ .

Очевидно, что для одного цикла потребления невозможно правильно оценить продолжительность функциональных циклов доставки. Но можно предположить (что мы и сделаем), что выявленная тенденция потребления запасов сохранится. В таком случае для оценки страхового запаса будем использовать следующую формулу:

$$y_s^{adj} = |a_1| \cdot \tau + \sigma_t \cdot t_\beta,$$

где  $\tau$  – количество дней просрочки.

Основной целью является встраивание такого алгоритма управления, при котором склад *не имеет дефицита*. Действительно, возникновение дефицита означает, что текущий запас равен нулю, т. е.  $y = 0$ . Для оценки вероятности отсутствия дефицита будем далее предполагать, что отклонения суточного потребления от тренда удовлетворяют стандартному нормальному закону распределения. Следует также подчеркнуть, что так же, как и при оценке прогнозируемой величины страхового запаса, определение вероятности отсутствия дефицита в одном цикле правомерно только при строгом соблюдении сроков поставки. Если это условие не выполняется, то расчет следует вести с учетом отклонения длительности функциональных циклов доставки. Для завершения оценки нам также будет необходимо определить ошибку полученного прогноза среднего времени потребления ( $T$ ). Для этих целей стандартно используется следующая формула:

$$\Delta T = \frac{|T_{fact} - T_{forecast}|}{T_{forecast}}$$

#### Тестирование на реальных данных

Теперь опробуем на практике применение алгоритма для оценки размера страхового у крупной компании. На основании полученных данных авторы оценили продолжительность цикла в 9 рабо-

чих дней (почти две недели). Сразу отметим, что для повышения точности результатов, мы рассмотрели несколько циклов потребления (и затем и скорректируем результаты). Исходные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Исходные данные, циклы #1 – #3

День	Потребление (1)	Потребление (2)	Потребление (3)
1	103	94	60
2	141	42	90
3	87	12	14
4	101	56	53
5	9	24	39
6	23	34	64
7	32	29	35
8	2	2	15
9	2	6	8

Оценка стандартного отклонения получилась следующая:

$$\sigma_t(1) = 52,5883;$$

$$\sigma_t(2) = 28,63467207;$$

$$\sigma_t(3) = 27,29468813.$$

Линейная регрессия (для определения тренда) будет иметь следующий вид (рис. 1).

Итак, среднее время потребления равно 9, 10 и 12 дням соответственно:

$$1) - \frac{139,6389}{-16,8167} = 8,3036 \Rightarrow T = 9;$$

$$2) - \frac{71,5556}{-7,6667} = 9,3333 \Rightarrow T = 10;$$

$$3) - \frac{73,6667}{-6,3333} = 11,6316 \Rightarrow T = 12.$$

Следующим шагом является оценка величины страхового запаса. Для ее получения необходимо сначала определиться с требуемым уровнем вероятности. Допустим, что ошибка в 5 % будет приемлемой. Тогда получаем (двусторонний интервал!):

$$\beta = 0,05; t_\beta = 1,959963985 \Rightarrow \sigma_t(1) \cdot t_\beta = 17,6397 \Rightarrow y_s(1) = 18.$$

Аналогично:  $y_s(2) = 20$ ;  $y_s(3) = 24$ . Итак, текущий прогноз будет иметь следующий вид (по трем циклам потребления, рис. 2).

Таким образом, при регулярных поставках потребность в обширных складских помещениях отсутствует. Однако картина мира существенно меняется, если принять во внимание текущую ситуацию, а именно существенные перебои в графике поставок. Посмотрим, как компании действовать стратегически в этом случае: рассчитаем размер страхового запаса на складе при условии отсрочки на 1, 2 и 8 дней.

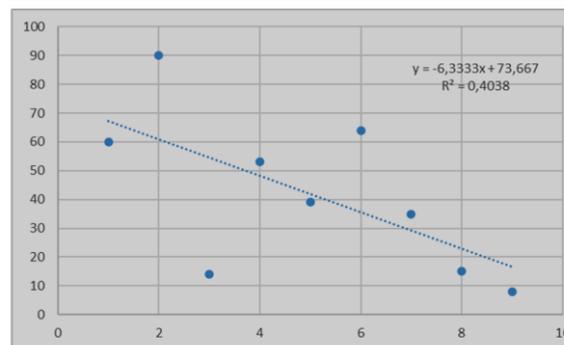
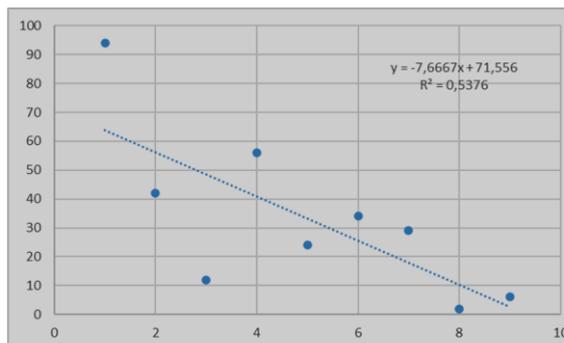
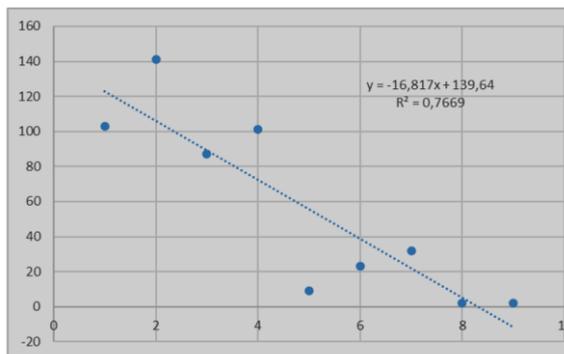


Рис. 1. Линейная регрессия (по трем циклам потребления)

Цикл #1:  
 $y_s^{adj} = 120$  (1 день);  $y_s^{adj} = 136$  (2 дня);  $y_s^{adj} = 151$  (8 дней).

Цикл #2:  
 $y_s^{adj} = 64$  (1 день);  $y_s^{adj} = 72$  (2 дня);  $y_s^{adj} = 118$  (8 дней).

Цикл #3:  
 $y_s^{adj} = 60$  (1 день);  $y_s^{adj} = 67$  (2 дня);  $y_s^{adj} = 105$  (8 дней).

Таким образом, ввиду сильной волатильности, получаем, что размер страхового запаса весьма значителен. Из рис. 2 можно сделать вывод, что дефицит появляется на 9-й (10-й и 12-й соответственно) день цикла. Проверим эту идею и посчитаем вероятность отсутствия дефицита. Получаем:

Цикл #1:  
 $P(6 \text{ день}) = 0,7366$ ;  $P(7 \text{ день}) = 0,41686$ ;  $P(8 \text{ день}) = 0,0971$ .

Цикл #2:  
 $P(6 \text{ день}) = 0,8925$ ;  $P(7 \text{ день}) = 0,6247$ ;  $P(8 \text{ день}) = 0,35699$ .

Цикл #3:

$$P(8 \text{ день}) = 0,8427; P(9 \text{ день}) = 0,6106; P(10 \text{ день}) = 0,3786.$$

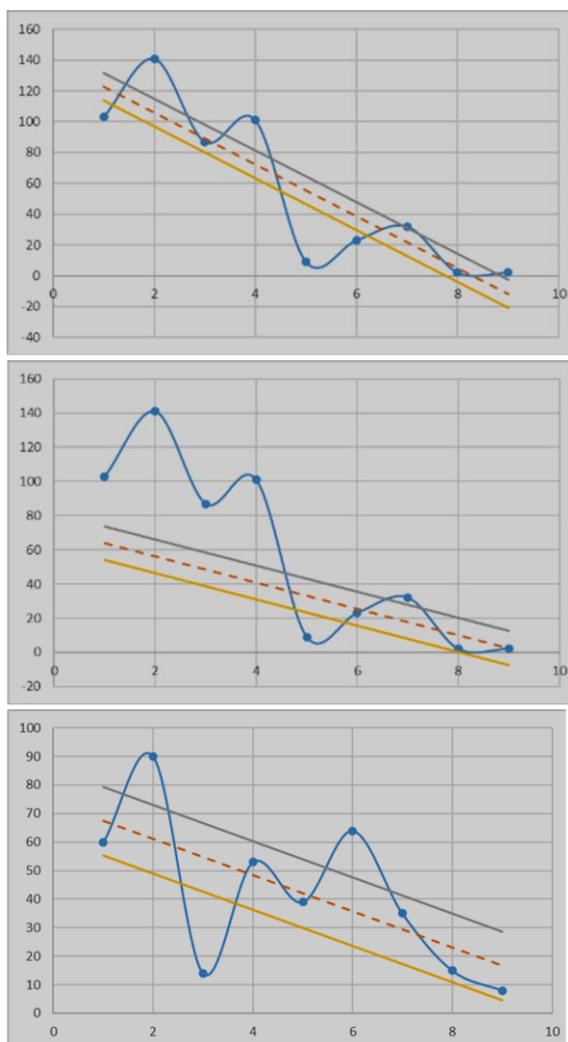


Рис. 2. Прогноз текущего потребления (по трем циклам)

Ошибка прогноза среднего времени потребления составляет, соответственно, 10; 10; 8,33 %. Ошибка достаточно большая, а вероятность отсутствия дефицита – недостаточно большая. Но более важно то, что даже небольшая задержка в поставках приводит к тому, что складской запас должен быть увеличен в 3–6 раз по сравнению с бесперебойным графиком поставок. Ну и чем больше задержка, тем значительней должен быть запас (прямая зависимость). Графически результат для линейной модели представлен на рис. 3.

Это колоссальный рост затрат. Как мы видим, модель линейной регрессии в условиях стресса работает крайне неэффективно. Попробуем уточнить полученный результат.

Для этого рассмотрим альтернативную модель прогнозирования: множественную регрессию, учитывающую задержки поставок. При этом по-

смотрим на исходные данные с другой стороны: отправной точкой теперь будет не потребление, а поставка товара. Основным моментом является, конечно же, выбор факторов множественной регрессии. Напомним, что факторы модели должны быть независимы и статистически значимы. Авторами было проведено исследование, в результате которого и были выявлены базовые факторы, образующие модель множественной регрессии. Причем изначально мы полагали, что «задержка» должна быть одним из таких факторов в обязательном порядке. В результате проведенного факторного анализа (табл. 3) такими значимыми факторами оказались «товар» (приход от поставщика) и «количество дней задержки». Действительно, проверка гипотезы о влиянии изменения фактора «количество дней задержки», обозначенного переменной  $\tau$ , на фактор «товар» ( $X_1$ ), с помощью  $F$  – статистики на уровне значимости  $\alpha = 0,05$  дало следующий результат:  $F_{obs} = 0,3787 > F_{cr} = 3,7389$ . Следовательно, влияние не является статистически значимым, и эти факторы можно использовать в качестве переменных в модели множественной регрессии.

Таким образом, в первом приближении уравнение страхового запаса  $\tilde{Y}$  будет иметь следующий вид:

$$\tilde{Y} = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \tau,$$

где  $\tau$  – количество дней просрочки,  $X_1$  – количество товара (приход от поставщика). Коэффициенты  $b_1$  и  $b_2$  рассчитываются стандартным методом на основе известного МНК (метод наименьших квадратов). Проверим работу модели на данных компании Р\*\*\* и сравним результат с предыдущим шагом. Исходные данные представлены в табл. 2. Таким образом, уравнение линейной множественной регрессии в нашем случае будет иметь вид:

$$\tilde{Y} = 113,57 + 0,21X_1 - 0,72\tau. \quad (1)$$

Исследуем уравнение (1). Проведем сравнение выборочных частных коэффициентов детерминации с соответствующими парными выборочными коэффициентами детерминации (обоснование двух факторов):

- $r_{X_1\tau/\tilde{Y}}^2 = 0,0124 < r_{X_1\tau}^2 = 0,0138$ ,

следовательно,  $\tilde{Y}$  усиливает взаимосвязь  $X_1, \tau$ ;

- $r_{X_1\tilde{Y}/\tau}^2 = 0,0412 < r_{X_1\tilde{Y}}^2 = 0,0427$ ,

следовательно,  $\tau$  усиливает взаимосвязь  $X_1, \tilde{Y}$ ;

- $r_{\tau\tilde{Y}/X_1}^2 = 0,0004 < r_{\tau\tilde{Y}}^2 = 0,0019$ ,

следовательно,  $X_1$  усиливает взаимосвязь  $\tau, \tilde{Y}$ .

Выборочный множественный коэффициент корреляции исходных данных (табл. 3) равен  $r_{\tilde{Y}}^2 = 0,0431$ . Проверим значимость при  $\alpha = 0,05$ , с помощью  $F$  – статистики:  $F_{obs} = 0,2884 > F_{cr} = 0,0515$ . Следовательно, при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  множественный коэффициент корреляции является **статистически значимым**. То есть можно сказать, что между величиной  $\tilde{Y}$  и двумерным случайным вектором  $(X_1, \tau)$  действительно существует линейная корреляционная связь.

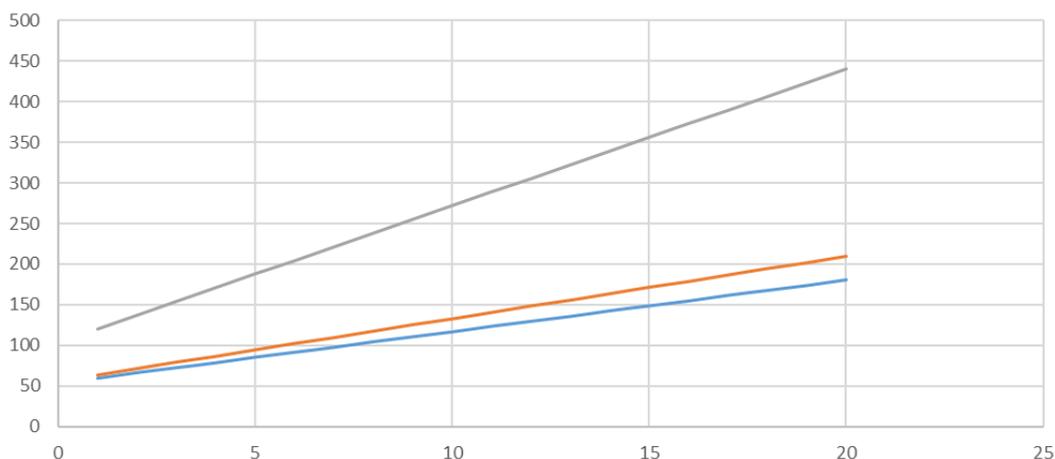


Рис. 3. Динамика роста страхового запаса

Исходные данные

Период	Остаток на начало периода (шт), $Y$	Товар (шт), $X_1$	Задержка поставок (дни), $\tau$
1	0	600	0
2	0	100	0
3	72	67	8
4	0	400	0
5	1	500	1
6	37	300	15
7	1	300	6
8	300	200	12
9	326	350	0
10	46	900	17
11	717	330	0
12	889	385	14
13	542	1000	2
14	38	100	20
15	71	100	0
16	43	400	10
17	67	150	19

Таблица 2

Группировка данных для проверки наличия взаимного влияния факторов регрессии

Задержка (количество дней)		
от 0 до 6	от 7 до 14	от 15 до 21
600	67	300
100	400	900
400	200	150
350	385	100
330		
100		
500		
1000		
300		

Таблица 3

Результат применения модели показан на рис. 4. Как мы видим, модель весьма реалистично строит прогноз страхового запаса, не требуя при этом его увеличивать прямо пропорционально задержке. Устойчивость даже при достаточно большой просрочке (три недели) делает ее вполне пригодной к использованию на практике.

#### Результаты и обсуждение

Подводя итог, можно сделать вывод, что, несмотря на относительную неточность прогноза, он

позволяет компании построить план деятельности, отталкиваясь именно от графика поставок (в случае стресс-сценария) или стандартно – на основе спроса (когда логистическая цепочка восстановлена и цикл постоянен). Представленные в работе модели предоставляют всю необходимую ключевую информацию: продолжительность циклов, среднее время потребления, страховой запас при условии просрочки, вероятность отсутствия дефицита. Для реального внедрения на практике можно рекомендовать *итеративный инкрементный подход к разработке ПО* (iterative and incremental development, IID) [16].

Следует отметить, что этот результат получен при условии сохранения текущего уровня потребления. Если мы предполагаем изменения и в этом направлении, в модель следует внести соответствующие изменения.

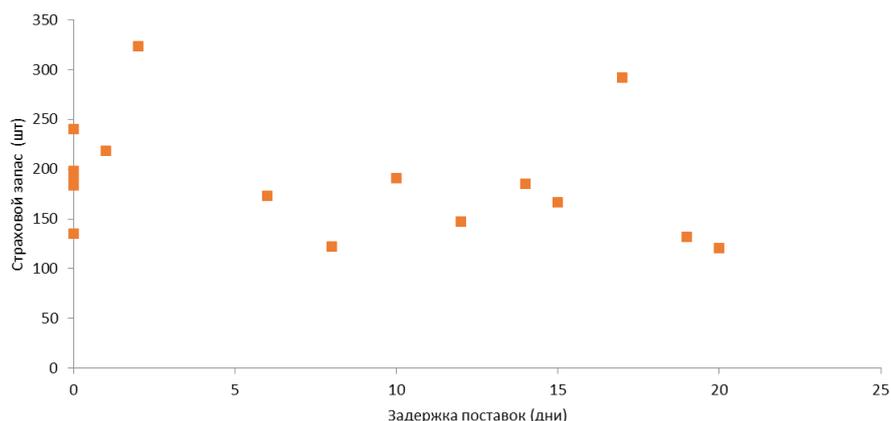


Рис. 4. Динамика роста страхового запаса (модель множественной регрессии)

### Список литературы

1. Продажа и внедрение WMS-систем для автоматизации и управления складом на базе 1С (2022). URL: <https://www.1cbit.ru/1s-biznes-zadachi/avtomatizaciya-skladskoj-logistiki-sistemy-upravleniya-skladom-wms/>
2. Программный комплекс управления логистикой (2022). URL: <https://ul.su/>
3. Что происходит на рынке перевозок из Китая в 2021 году (2021). URL: <https://retail-loyalty.org/expert-forum/chto-proiskhodit-na-rynke-perevozk-iz-kitaya-v-2021-godu/>
4. Около тысячи фур стоят в пробке на границе с Китаем в МАПП Забайкальск (2021). URL: <https://auto.rambler.ru/roadaccidents/47497521-okolo-tysyachi-fur-stoyat-v-probke-na-granitse-s-kitaem-v-mapp-zabaykalsk/>
5. Martha C. Wilson. The impact of transportation disruptions on supply chain performance // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2007. Vol. 43, Iss. 4. P. 295–320. DOI: 10.1016/j.tre.2005.09.008
6. Mohamed El Abdellaoui and Gilles Pache. Effects of disruptive events within the supply chain on perceived logistics performance // *Economics Bulletin*. 2019. Vol. 39, Iss. 1. P. 41–54.
7. Dennis Praka, Ruud Teuntera, Aris Syntetosb. On the calculation of safety stocks when demand is forecasted // *European Journal of Operational Research*. 2017. Vol. 256, Iss. 2. P. 454–461. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.06.035
8. Ming-Cheng Lo. Economic Ordering Quantity Model with Lead Time Reduction and Backorder Price Discount for Stochastic Demand // *American Journal of Applied Sciences*. 2009. Vol. 6 (3). P. 387–392. DOI: 10.3844/ajas.2009.387.392
9. Karl Inderfurth. Safety stock optimization in multi-stage inventory systems // *International Journal of Production Economics*. 1991. Vol. 24, Iss. 1–2. P. 103–113. DOI: 10.1016/0925-5273(91)90157-O
10. Elisa Gebenninia, Rita Gamberinia and Riccardo Manzinib. An integrated production–distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization // *International Journal of Production Economics*. 2009. Vol. 122, Iss. 1. P. 286–304. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.06.027
11. John A. Muckstadt, Amar Sapra. *Principles of Inventory Management*. Springer, 2010. 337 p.
12. Paul Herbert Zipkin. *Foundations of Inventory Management*. McGraw-Hill/Irwin, 2000. 524 p.
13. Alin Constantin Radasanu. Inventory management, service level and safety stock // *Journal of Public Administration, Finance and Law*. 2016. Iss. No: 09. P. 145–153.
14. Alex J. Ruiz-Torres and Farzad Mahmoodi. Safety stock determination based on parametric lead time and demand information // *International Journal of Production Research*. 2010. Vol. 48, Iss. 10. P. 2841–2857. DOI: 10.1080/00207540902795299
15. Matthias Schmidt, Wiebke Hartmann and Peter Nyhuis. Simulation based comparison of safety-stock calculation methods // *CIRP Annals*. 2012. Vol. 61, Iss. 1. P. 403–406. DOI: 10.1016/j.cirp.2012.03.054
16. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс / пер. с англ. М.: Изд-во «Русская редакция», 2010. 896 с.

## References

1. *Prodazha i vnedrenie WMS-sistem dlya avtomatizatsii i upravleniya skladom na baze 1С* [Sale and implementation of WMS-systems for automation and warehouse management based on 1C]. 2022. URL: <https://www.1cbit.ru/1s-biznes-zadachi/avtomatizaciya-skladskoj-logistiki-sistemy-upravleniya-skladom-wms/>
2. *Programmnyy kompleks upravleniya logistikoy* [Logistics management software package]. 2022. URL: <https://ul.su/>
3. *Chto proiskhodit na rynke perevozok iz Kitaya v 2021 godu* [What is happening in the transportation market from China in 2021]. 2021. URL: <https://retail-loyalty.org/expert-forum/chto-proiskhodit-na-rynke-perevozok-iz-kitaya-v-2021-godu/>
4. *Okolo tysyachi fur stoyat v probke na granitse s Kitaem v MAPP Zabaykal'sk* [About a thousand trucks are stuck in a traffic jam on the border with China at the checkpoint Zabaikalsk]. 2021. URL: <https://auto.rambler.ru/roadaccidents/47497521-okolo-tysyachi-fur-stoyat-v-probke-na-granitse-s-kitaem-v-mapp-zabaykalsk/>
5. Martha C. Wilson. The impact of transportation disruptions on supply chain performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2007, vol. 43, iss. 4, pp. 295–320. DOI: 10.1016/j.tre.2005.09.008
6. Mohamed El Abdellaoui and Gilles Pache. Effects of disruptive events within the supply chain on perceived logistics performance. *Economics Bulletin*, 2019, vol. 39, iss. 1, pp. 41–54.
7. Dennis Praka, Ruud Teuntera, Aris Syntetosb. On the calculation of safety stocks when demand is forecasted. *European Journal of Operational Research*, 2017, vol. 256, iss. 2, pp. 454–461. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.06.035
8. Ming-Cheng Lo. Economic Ordering Quantity Model with Lead Time Reduction and Backorder Price Discount for Stochastic Demand. *American Journal of Applied Sciences*, 2009, vol. 6 (3), pp. 387–392. DOI: 10.3844/ajas.2009.387.392
9. Karl Inderfurth. Safety stock optimization in multi-stage inventory systems. *International Journal of Production Economics*, 1991, vol. 24, iss. 1–2, pp. 103–113. DOI: 10.1016/0925-5273(91)90157-O
10. Elisa Gebenninia, Rita Gamberinia and Riccardo Manzini. An integrated production–distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization. *International Journal of Production Economics*, 2009, vol. 122, iss. 1, pp. 286–304. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.06.027
11. John A. Muckstadt, Amar Sapra. *Principles of Inventory Management*. Springer, 2010. 337 p.
12. Paul Herbert Zipkin. *Foundations of Inventory Management*. McGraw-Hill/Irwin, 2000. 524 p.
13. Alin Constantin Radasanu. Inventory management, service level and safety stock. *Journal of Public Administration, Finance and Law*, 2016, iss. No: 09, pp. 145–153.
14. Alex J. Ruiz-Torres and Farzad Mahmoodi. Safety stock determination based on parametric lead time and demand information. *International Journal of Production Research*, 2010, vol. 48, iss. 10, pp. 2841–2857. DOI: 10.1080/00207540902795299
15. Matthias Schmidt, Wiebke Hartmann and Peter Nyhuis. Simulation based comparison of safety-stock calculation methods. *CIRP Annals*, 2012, vol. 61, iss. 1, pp. 403–406. DOI: 10.1016/j.cirp.2012.03.054
16. Steven C. McConnell. *Code complete: A Practical Handbook of Software Construction*/ Microsoft Press; 2nd ed. 2004. 960 p.

**Информация об авторах**

**Мочалина Екатерина Павловна**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры высшей математики, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия, Mochalina.EP@rea.ru

**Иванкова Галина Владимировна**, старший преподаватель кафедры высшей математики, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия, Ivankova.GV@rea.ru

**Information about the authors**

**Ekaterina P. Mochalina**, Candidate of Sciences (Mathematics), Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia, Mochalina.EP@rea.ru

**Galina V. Ivankova**, senior lecturer of the Department of Higher Mathematics, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia, Ivankova.GV@rea.ru

*Статья поступила в редакцию 13.05.2022*

*The article was submitted 13.05.2022*