

## Литература

1. *Нечепуренко, Ю.В.* Управление интеллектуальной собственностью в научно-образовательной сфере. Нормативно-правовое обеспечение управления ИС / Ю.В. Нечепуренко // Интеллектуальная собственность в Беларуси. — 2005. — № 4. — С. 10—14.
2. *Якимихо, А.П.* Управление объектами интеллектуальной собственности в Республике Беларусь / А.П. Якимихо. — Минск: Амалфея, 2005. — 472 с.
3. О государственном учете результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ военного, специального и двойного назначения: постановление Правительства Рос. Федерации, 26 февр. 2002 г., № 131 // Собр. законодательства Рос. Федерации. — 2002. — № 9. — С. 935.
4. О государственном учете результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения: постановление Правительства Рос. Федерации, 4 мая 2005 г., № 284 // Собр. законодательства Рос. Федерации. — 2005. — № 19. — С. 1824.
5. *Близнец, И.А.* Методические рекомендации по инвентаризации прав на результаты интеллектуальной деятельности на предприятиях / И.А. Близнец, Б.Б. Леонтьев, Х.А. Мамаджанов. — 2-е изд., пересмотр. и доп. — М.: Патент, 2007. — 101 с.

**Р.А. Рутковский,**

*кандидат технических наук, доцент;*

**О.А. Сосновский,**

*кандидат технических наук, доцент*

## МАКРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ АГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ПОТОКОВ ПРОДУКЦИИ

*В статье рассматривается проблема моделирования потоков продукции в макроэкономической системе. В отличие от широко известных моделей В. Леонтьева и Дж. фон Неймана предлагается агентная модель, в которой может учитываться ряд факторов состояния и динамики мировой экономики, таких как курсы мировых валют, таможенные правила, цены на импортируемую продукцию и т.д. Для описания агента авторами используется понятие технологического процесса (в смысле модели затраты—выпуск Дж. фон Неймана). Приводится алгоритм агентной модели управления запасами.*

### Потоки продукции в экономической системе

Как известно, метод моделирования и анализа межотраслевых связей разработан В. Леонтьевым и позволяет ответить на многие вопросы межотраслевых взаимодействий и их влияния на основные макроэкономические показатели [1].

Следует отметить, что число отраслей в модели В. Леонтьева совпадает с числом производимых видов продукции. Если точно следовать понятию отрасли, то их число окажется неприемлемо большим, например, для экономической системы Республики Беларусь — не менее 104. Главным препятствием практического использования такой модели является невозможность сбора и ввода исходных данных для формирования матрицы прямых затрат.

Стандартно применяемым подходом для сокращения числа отраслей является рассмотрение групп продукции, с которыми ассоциируется понятие отрасли. В данном случае число отраслей уменьшается до нескольких сотен. Так, в межотраслевом балансе

рассматривалось до 600 отраслей. Несмотря на их довольно большое число, полнота охвата потоков продукции даже в этом случае не превышает 80 %. Модель межотраслевого баланса экономической системы Республики Беларусь включает 32 отрасли.

Некоторые авторы [2—3] отмечают некорректность применения данной модели для целей прогнозирования состояния экономики.

Несмотря на указанные недостатки, модель В. Леонтьева применяется для анализа межотраслевых потоков продукции (более известна как модель межотраслевого баланса).

Отмеченные недостатки модели В. Леонтьева исправлены в модели, предложенной Дж. фон Нейманом [1], в которой рассматривается взаимодействие частей экономики, называемых технологическими процессами (ТП). Существенным отличием ТП от отрасли является то, что в каждом из них допускается выпуск любого числа видов продукции, ограниченного только числом технологических процессов. При этом достигается полный охват продукции, который может достигать 100 %. Найдены траектории максимального сбалансированного роста, называемые лучами Неймана.

Основные недостатки модели Дж. фон Неймана:

- рассматривается только статическая структура производства, отраженная в постоянных значениях элементов матриц выпуска и затрат;
- рассматриваются потоки продукции только за конкретный период (год);
- рассматриваются только равновесные цены.

Авторами статьи предлагается агентная модель потоков продукции.

*Агент* — нечто, способное воспринимать свое окружение через сенсоры и изменять его своими действиями. Агенты, однако, редко являются одиночными системами. Чаще они взаимодействуют.

Системы, содержащие группу агентов, которые могут взаимодействовать, называются *агентными (мультиагентными) системами* [4—5].

Агентом может быть любая часть экономики, в которой выпускается или потребляется хотя бы один вид продукции, обращающейся в экономической системе.

Разделение экономики на части-агенты может быть подчинено некоторым принципам, например территориальному или административному делению народного хозяйства. Это может быть удобно и даже необходимо с точки зрения государственного учета и регулирования потоков продукции.

Для описания агента авторами предлагается использовать понятие технологического процесса (в смысле модели затраты—выпуск Дж. фон Неймана).

В этом случае  $j$ -агент характеризуется вектором выпуска  $g_j = \begin{bmatrix} g_{1j} \\ g_{2j} \\ \vdots \\ g_{nj} \end{bmatrix}$  и вектором затрат

продукции  $h_j = \begin{bmatrix} h_{1j} \\ h_{2j} \\ \vdots \\ h_{nj} \end{bmatrix}$ , соответствующих единичной интенсивности ( $x_j = 1$ ),  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Предполагается выполнение гипотезы линейности выпуска  $g(x_j)$  и затрат  $h(x_j)$  продукции каждым  $j$ -м агентом относительно интенсивности  $x_j$

$$g(x_j) = g_j x_j, \quad h(x_j) = h_j x_j, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Тогда конечный выпуск  $y_j(x_j)$  представляет собой разность между выпуском и затратами

$$y_j(x_j) = g(x_j) - h(x_j), \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Согласно теореме об эффективном производстве [6], число видов продукции, обращающейся в экономике, совпадает с числом технологических процессов. Последнее обстоятельство является существенным для установления числа агентов.

Определим, что в любой момент времени  $t_i$  все агенты имеют некоторый запас продукции различных видов. Для хранения указанного запаса продукции введем вектор  $z_j$  продукции  $j$ -го агента

$$z_j = \begin{bmatrix} z_{1j} \\ z_{2j} \\ \vdots \\ z_{nj} \end{bmatrix}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Тогда состояние запасов продукции в агентной системе будет определяться матрицей  $Z = (z_{ij})_{n \times n}$ , составленной из указанных векторов-столбцов  $z_j$ .

Запасы формируются как сырье, полученное от других агентов, и собственная продукция. Собственная продукция соответствует ненулевым компонентам вектора выпуска  $g_j$ . Запасы этой продукции определяются интенсивностью  $x_j$  функционирования агента, которая регулируется на основе прогнозирования спроса, потреблением его продукции другими агентами (системой), наличием договорных обязательств.

В свою очередь сырье соответствует ненулевым компонентам вектора затрат  $h_j$ , и его запасы должны эффективно регулироваться для предотвращения дефицита.

Скорость расходования сырья (монотонного убывания  $i$ -й сырьевой компоненты вектора  $z_j$ ) определяется произведением  $h_{ij} \cdot x_j = V_{ij}$ . Произведение скорости потребления сырья на длину промежутка времени  $\Delta t$  определяет расход сырья за промежуток времени  $\Delta t$

$$\Delta z_{ij}(\Delta t) = V_{ij} \Delta t.$$

Из уравнения  $V_{ij} \Delta t = z_{ij} = 0$  находим длину отрезка времени до полного исчерпания  $i$ -го (сырьевого) продукта у  $j$ -го агента

$$\Delta t_{ij} = \frac{z_{ij}}{V_{ij}} = \frac{z_{ij}}{h_{ij} x_j}, \quad i, j = \overline{1, n}.$$

Благодаря тому, что каждый агент может выпускать более одного вида продукции, возникает ситуация, когда один и тот же продукт производится многими агентами. Между последними возникает конкуренция за сбыт такого продукта. Приходя к устойчивому состоянию, мультиагентная система устанавливает справедливые цены на продукцию.

### Алгоритм работы агентной модели

Для агентов должен быть задан алгоритм (стратегия) поведения. Каждый агент формирует свою стратегию исходя только из своих интересов, например, получение наибольшего дохода на заданном временном интервале. При выборе своей стратегии агент учитывает как текущую ситуацию, так и перспективы ее развития. Стратегия агента зависит от эндогенных (текущая деятельность других агентов, состояние экономической системы в целом) и экзогенных факторов состояния мировой экономики как на ближайшую, так и на отдаленную перспективу.

В зависимости от целей исследований при формировании стратегии своего поведения агенты могут учитывать некоторые из следующих факторов состояния и динамики мировой экономики:

- международные соглашения, договоры, например, защиты экологии, санкции признанных международных организаций в отношении регионов, поддерживающих развитие нежелательных процессов, и др.;

- политическую ситуацию в регионе, мире;
- курсы мировых валют;
- таможенные правила;
- цены на импортируемую продукцию;
- цены на энергоносители;
- появление новых способов производства, например, нанотехнологии, роботизация производства, термоядерные источники энергии, развитие космической промышленности;
- изменение курсов акций некоторых предприятий.

Большое число классических подходов основаны на требовании простоты алгоритма управления запасами. Один из таких подходов представлен ниже (модель управления с критическим уровнем) как пример параметрического алгоритма. Очевидно, что большинство подобных подходов давно устарели. Ввиду обязательного использования в контуре управления компьютера ограничение на сложность алгоритма регулирования запасов практически отсутствует.

Управление сырьевыми запасами является важным элементом стратегии агента. Для агентной модели потребуется достаточно универсальная модель управления запасами. Конструирование алгоритма управления запасами подчинено двум очень важным и взаимосвязанным требованиям.

Во-первых, необходимо поддерживать постоянную экономическую эффективность создаваемых запасов.

Во-вторых, единственно приемлемым является только адаптивный алгоритм управления. Это обеспечивает автоматизм настройки стратегии агента при изменении условий работы.

Своевременная адаптация к изменению условий функционирования агента необходима для непрерывной поддержки эффективности его стратегии.

В настоящее время существует целый ряд моделей управления запасами [7]. Самой простой из них является параметрическая модель с критическим уровнем. Принцип построения алгоритма модели по управлению запасами  $i$ -го продукта представлен на рис. 1. Единственным параметром этой модели является критический уровень текущего запаса, обозначенный  $z_{кр}$ .

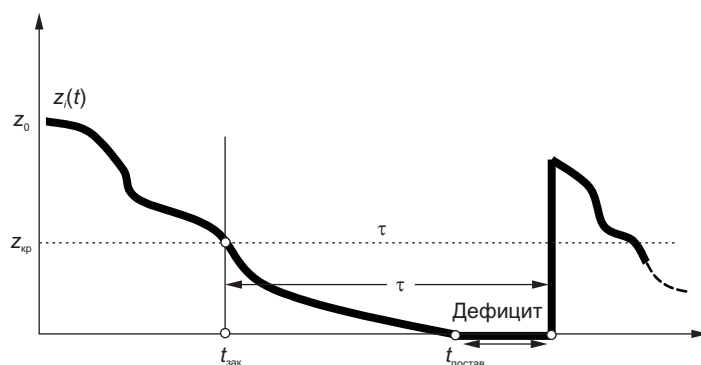


Рис. 1. Пример ситуации дефицита в модели с критическим уровнем

Монотонное уменьшение запаса от начального уровня  $z_0$  приводит к достижению достаточно малого, заранее установленного, критического уровня в момент  $t_{зак}$ . Это является сигналом к оформлению заказа на очередную поставку продукта с целью пополнения его запаса. Поставка производится через некоторый интервал времени, возмож-

но, случайный, обозначенный через  $\tau$ . На рис. 1 представлен случай запаздывания поставки, что приводит к возникновению дефицита. Поставка производится слишком поздно в момент, обозначенный через  $t_{\text{постав}}$ .

На рис. 1 изображен пример нерегулируемого уровня поставки, когда возникают запасы, не совпадающие первоначальным запасом  $z_0$ .

Одной из главных причин дефицита является слишком малое значение параметра  $z_{\text{кр}}$  и, как следствие, запоздалый заказ на пополнение наличия сырья, запасы которого близки к исчерпанию. Возникновение ситуации дефицита приводит к снижению эффективности производства или даже к полной его остановке. Определение потерь, возникающих из-за дефицита, чаще всего достаточно просто оценивается в зависимости от технологии производства и штрафных санкций от потребителей продукции агента.

Противоположная ситуация слишком ранней поставки представлена на рис. 2. Время поставки оказалось слишком малым, что привело к неоправданно большому запасам. Это увеличивает потери хранения продукта, которые связаны с расходами на обслуживание запаса и с частичной непроизводительной потерей продукта.

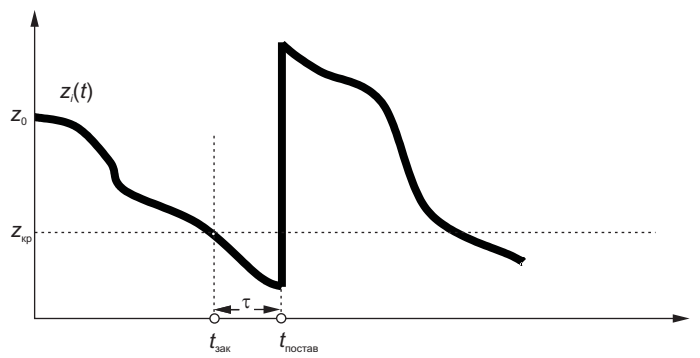


Рис. 2. Пример ситуации ранней поставки в модели с критическим уровнем

Одной из причин преждевременной поставки является слишком большое значение параметра  $z_{\text{кр}}$ .

Из приведенных рассуждений вытекает необходимость поддержания оптимального параметра критического уровня. Его оптимизация может быть осуществлена при вычислении выборочного значения критерия суммарных потерь на основе моделирования случайного процесса колебаний уровня запаса с применением метода Монте-Карло.

Критический уровень не является единственным адаптационным параметром. В качестве еще одного параметра может быть использован объем поставки, например фиксированный.

Отказ от фиксированного объема поставки требует знания скорости потребления запаса в будущем. Прогноз этого показателя проще всего осуществить на основе наблюдаемых значений конечных разностей функции текущего запаса  $z_i(t)$ . Возможен и более универсальный подход, рассматриваемый ниже.

Прогнозирование функции  $z_i(t)$  позволяет оценить момент исчерпания запаса. Тогда, вычитая из этой величины время поставки, можно определить момент заказа на поставку новой партии сырья. Если прогнозируемая модель содержит постоянное слагаемое (свободный член), порождаемое наличием в базисе единичной функции, то указанное вычисление точки заказа равносильно коррекции свободного члена прогнозируемой модели. Но такая коррекция не требуется, если в модели прогноза будет оцениваться сама точка заказа, а параметры регрессионной модели будут вычисляться не как обыч-

но — по методу наименьших квадратов, а по критерию минимума суммарных издержек управления запасами. Такой подход позволяет дополнить набор параметров объемом поставки, а также другими возможными характеристиками процедуры пополнения запаса сырья у агента.

Открытым остается вопрос о частоте пересчета параметров путем повторной оптимизации (актуализации) алгоритма пополнения запаса. В данном случае логически возможны несколько подходов:

- актуализация параметров проводится с максимальной частотой, при каждом акте пополнения запасов;
- актуализация проводится при обнаружении снижения эффективности управления запасами;
- актуализация проводится по запросу пользователя;
- актуализация проводится через равные промежутки времени, например ежедневно;
- актуализация проводится всегда при загрузке программы. Это может рассматриваться как настройка параметров перед использованием алгоритма управления.

Выбор конкретного подхода настройки параметров алгоритма может осуществляться при инсталляции программы.

Наиболее эффективным средством адаптации является смена модели прогнозирования точки заказа. В этом случае требуется задание множества тестируемых базисов, при этом наиболее целесообразным является использование генератора базиса.

Учитывая вышесказанное, на рис. 3 представлена блок-схема алгоритма агентной модели управления запасами. Отметим, что в алгоритм модели может включаться механизм редукции числа агентов в случае их несостоятельности в конкурентной борьбе с другими агентами.

Приведем краткое описание основных блоков алгоритма.

**Блок 1.** В первом блоке определяется начальное состояние системы по запасам продукции и интенсивности функционирования  $x(0)$ . Определим, что в начальный момент времени ( $t = 0$ ) все агенты имеют некоторый запас  $Z_0 = (z_{ij})_{n \times n}$  продукции различных видов.

**Блок 2.** В этом блоке определяются наиболее ранние моменты заказа  $t_{\text{зак } ij}$  по всем сырьевым продуктам для каждого  $j$ -го агента-потребителя одним из вышеописанных методов. Наиболее ранний момент заказа  $t_{\text{зак } ij}$  принимается за системный показатель всей агентной системы.

**Блок 3.** В указанном блоке осуществляется поиск агента-поставщика для  $i$ -го продукта и определение его номера  $k$  ( $k = 1, n; k \neq j$ ).

**Блок 4.** Определяется время поставки для  $j$ -го агента-потребителя от найденного  $k$ -го агента-поставщика  $t_{\text{постав } ij} = t_{\text{зак } ij} + \tau_{jk}$ . Кроме этого определяются дополнительные условия поставки, такие как цена, качество и т.д.

**Блок 5.** В данном блоке анализируется время поставки  $t_{\text{постав } ij}$  и дополнительные условия поставки. В случае выполнения  $k$ -м агентом-поставщиком условий, определенных  $j$ -м агентом-потребителем, в блоке 6 происходит поставка продукта и соответствующее изменение матрицы  $Z = (z_{ij})_{n \times n}$ . Если условия поставки не выполняются, то поиск агента-поставщика продолжается.

**Блок 6.** В указанном блоке анализируется событие, указывающее на наступление дефицита или излишка сырьевого продукта. В случае наступления такого события в блоке 6 происходит изменение стратегии  $j$ -го агента-потребителя, и агентная система возвращается к определению новых точек заказа  $t_{\text{зак } ij}$  по всем продуктам для каждого  $j$ -го агента-потребителя.

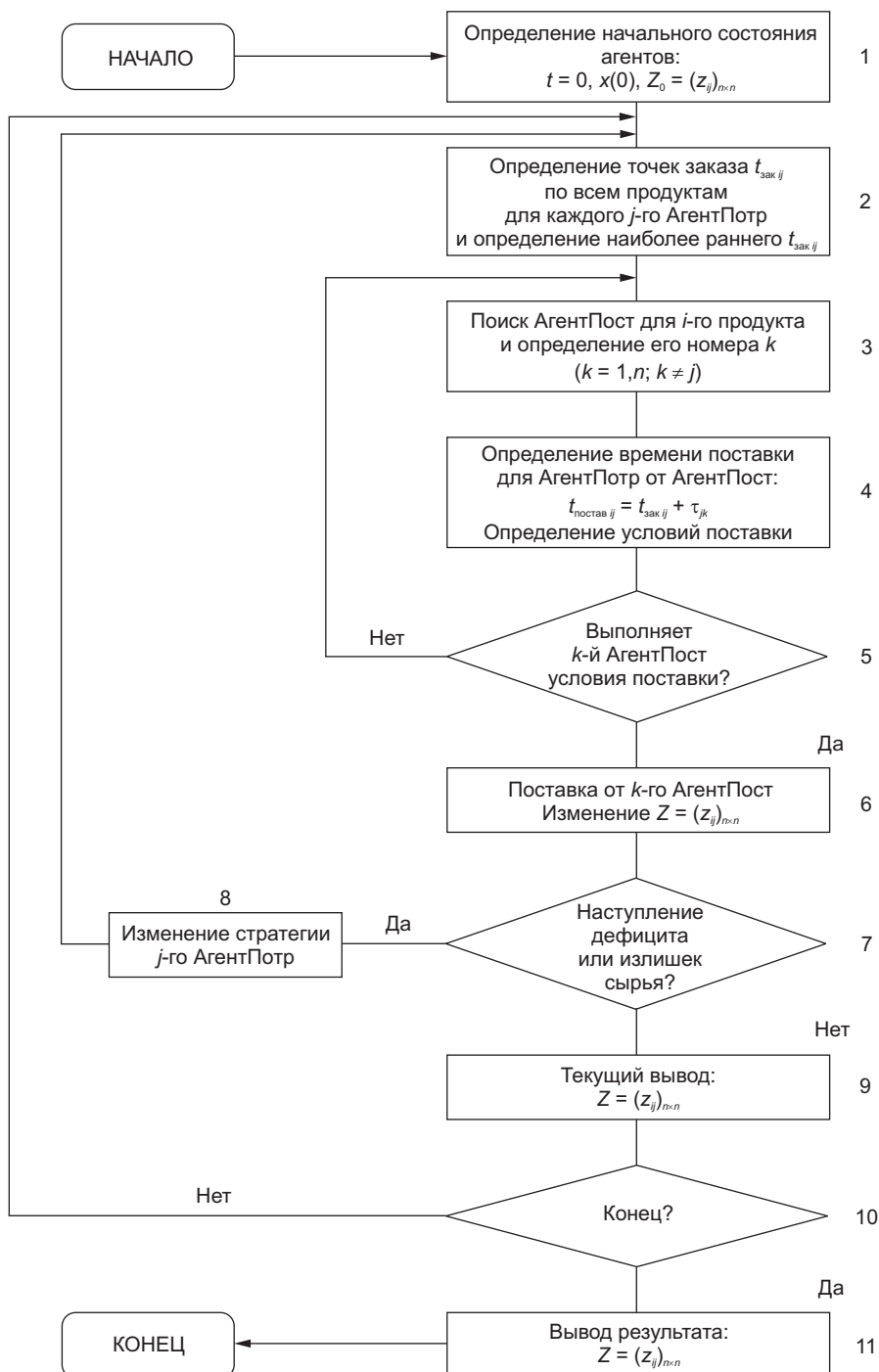


Рис. 3. Блок-схема алгоритма агентной модели управления запасами

Завершение алгоритма может осуществляться в связи с различными событиями:

- достижение стационарного состояния системы;
- запрос пользователя;
- ограничение времени моделирования.

Результатом работы алгоритма является формирование конечной матрицы  $Z = (z_{ij})_{n \times n}$ .

### Заключение

В статье предложен вариант агентной модели потоков продукции для замкнутой макроэкономической системы, когда производственное потребление осуществляется только внутри системы, а любая потребляемая продукция производится системой. Это ограничение принято лишь для краткости изложения. Таким же образом могут быть введены условные агенты, связанные с потреблением-выпуском продукции в открытой экономической системе.

Использование агентных систем позволяет сократить до минимума затраты на управление производственными запасами на всех уровнях экономической системы.

Агентное моделирование ориентировано на практически полный автоматизм системы принятия экономических решений, что выгодно отличает его от деловых игр и существующих систем поддержки принятия решений.

### Литература

1. Ланкастер, К. Математическая экономика / К. Ланкастер. — М.: Экономика, 1972. — 464 с.
2. Моделирование народнохозяйственных процессов / под ред. В.С. Дадаева. — М.: Экономика, 1973. — 479 с.
3. Карганов, С.А. Об ошибочности использования в народнохозяйственном планировании экономико-математической модели В. Леонтьева и межотраслевых балансов «затраты—выпуск» / С.А. Карганов [Электронный ресурс]. — Алтайский государственный университет, Барнаул, 2006. — Режим доступа: <http://www.aup.ru/articles/economics/12.htm>. — Дата доступа: 28.02.2009.
4. Тарасов, В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. Философия, психология, информатика / В.Б. Тарасов. — М., 2002. — 349 с.
5. Рутковский, Р.А. Бихевиористическая модель потоков продукции (альтернатива модели В.В. Леонтьева) / Р.А. Рутковский // Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития: материалы VII междунар. конф., Минск, 10—11 окт. 2006 г. / НИИ экономики. — Минск, 2006. — С. 36.
6. Саймон, Г. Науки об искусственном / Г. Саймон. — М.: Мир, 1972. — 147 с.
7. Миксюк, С.Ф. Экономико-математические методы и модели: учеб.-практ. пособие / С.Ф. Миксюк [и др.]; под общ. ред. С.Ф. Миксюк, В.Н. Комкова. — Минск: БГЭУ, 2006. — 219 с.