

8. Георгиев Н. Г. Визуальное программирование в задачах моделирования строительных конструкций / Н. Г. Георгиев, К. А. Шумилов, А. А. Семенов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4 (38). – С. 117–123.
9. Лежнина Ю. А. Проблемы внедрения новой информационной технологии Building Information Modeling в строительном вузе / Ю. А. Лежнина, Т. В. Хоменко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2015. – № 2 (12). – С. 78–82.
10. Музычук В. Ю. Экономика культурного наследия в России: особенности и противоречия / В. Ю. Музычук // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2022. – № 6. – С. 7–33.
11. Колчев А. А. Применение технологии цифровой информационной модели объектов культурного наследия для реализации проектов по ремонтно-реставрационным работам и эффективной эксплуатации зданий / А. А. Колчев, М. Петровский // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы VI Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 330–335.
12. Хапин А. В. Использование BIM-модели производственного здания при реконструкции / А. В. Хапин, Б. Е. Махиев, А. Н. Ударцева // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы VI Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 13–19.
13. Шангина Н. Н. О перспективах использования цифровых технологий для улучшения деятельности по реставрации объектов культурного наследия / Н. Н. Шангина // Сборник тезисов, посвященный итогам конференции в рамках Всероссийского съезда реставраторов, состоявшейся 22.11.2022. – Санкт-Петербург : Папирус, 2023. – С. 8–9.

© Е. П. Яхина, О. И. Светлова

**Ссылка для цитирования:**

Яхина Е. П., Светлова О. И. Анализ тенденций использования технологии лазерного сканирования при сохранении объектов культурного наследия России // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 2 (48). С. 58–63.

УДК 621

DOI 10.52684/2312-3702-2024-48-2-63-67

**УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ  
МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ АРМАТУРЫ СО СЛУЧАЙНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

**М. В. Шавыкина, П. С. Борисов**

**Шавыкина Марина Витальевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация;

**Борисов Павел Алексеевич**, студент, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

Проведен анализ механизма поведения арматурных стержней под воздействием нагрузок на основе вероятностной модели сопротивления разрушению и деформированию многоэлементной арматуры со случайными свойствами. Определены вероятностные характеристики распределения равномерного относительного удлинения многостержневой арматуры в зависимости от числа стержней в опасном сечении.

**Ключевые слова:** конструкций зданий и сооружений, вероятностные методы в расчетах строительных конструкций, снижение расхода стали, совместная работа остальных арматурных стержней.

**CLARIFICATION OF THE METHOD FOR DETERMINING DESIGN RESISTANCE  
MULTI-ELEMENT REINFORCEMENT WITH RANDOM PROPERTIES**

**M. V. Shavykina, P. S. Borisov**

**Shavykina Marina Vitalyevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Structures, Buildings and Structures, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation;

**Borisov Pavel Alekseyevich**, student, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation

The analysis of the mechanism of behavior of reinforcing bars under the influence of loads is carried out on the basis of a probabilistic model of resistance to fracture and deformation of multi-element reinforcement with random properties. The probabilistic characteristics of the distribution of uniform elongation of multi-rod reinforcement depending on the number of rods in the dangerous section are determined.

**Keywords:** structures of buildings and structures, probabilistic methods in the calculations of building structures, reduction of steel consumption, joint work of other reinforcing bars.

**Введение**

В последнее время значительное внимание уделяется повышению резервов несущей способности конструкций зданий и сооружений, в том числе исследованиям механизма поведения арматурных стержней в железобетонных конструкциях.

Расчет строительных конструкций по методу предельных состояний, широко применяемый сейчас, был разработан на основе четкого понимания

того факта, что поведение конструкций носит случайный характер.

В железобетонных конструкциях применяется многостержневое армирование, при котором прочность стержней в конструкции различна и находится выше нормированных значений. Однако эти резервы в конструкции не используются. Полное использование прочностных свойств арматуры при многостержневом армировании один из путей снижения расхода

стали. В связи с этим исследование механизма поведения арматурных стержней в железобетонных конструкциях при воздействии нагрузок и выявление резервов несущей способности, учет реальных свойств стали является актуальной задачей.

В настоящее время является общепризнанным, что поведение реальных конструкций обусловлено взаимодействием ряда факторов случайной (стохастической) природы. Поэтому обоснованный подход к определению надежности конструкций возможен только с позиции вероятностных методов. Утверждению этой концепции, отражающей физический смысл явления, предшествовали многолетние исследования по применению вероятностных методов для расчета конструкций.

Первая попытка использования вероятностных методов в расчетах строительных конструкций была предложена Качини в 1911 году. Он рассматривал возможность проводить статистическую обработку наблюдений за нагрузками и прочностными свойствами материалов.

Этим исследованиям посвящены также работы известных ученых, в числе которых М. Майер и Н. Ф. Хоциалов [1] (опубликованы в 30-х годах), А. Р. Ржаницын [2]. Зарубежные труды (Фрейденталь, Ионсон и др.) также внесли значительный вклад в развитие вероятностных методов расчета строительных элементов и систем. Начиная с 1935 года появились публикации профессора Н. С. Стрелецкого. Ему принадлежит выдающаяся роль во внедрении этих методов в строительную механику [3]. В работах А. В. Геммерлинга [6] исследуется влияние видов соединения звеньев системы на вероятность наступления предельного состояния конструкции. Им предлагается дифференцированный подход к назначению надежности в зависимости от характера достижения предельного состояния (хрупкое или пластичное разрушение). Данные работы характеризуются стремлением к простейшим схемам расчета, не требующим сложного аналитического аппарата. Эти схемы позволили получить качественное описание явления, изучить влияние изменчивости нагрузок и изменчивости прочности на надежность, поставить задачу об оптимизации и т. д.

С увеличением числа стержней со случайными свойствами в железобетонных несущих конструкциях, приводит к повышению расчетных

сопротивлений арматуры, по сравнению с принятыми в технических условиях и определенных по так называемому правилу трех стандартов. В результате коллективной работы стержней увеличивается общее усилие в арматуре в предельном состоянии конструкции, повышается их надежность работы под нагрузками и снижается вероятность отказа и обрушения зданий с опасными последствиями. Особенно остро стоит проблема предотвращения прогрессирующего разрушения при локальном повреждении и выходе из строя одного или нескольких несущих элементов несущего остова здания при аварийных воздействиях техногенного или природного происхождения.

В данной работе рассматривается методика определения расчетных сопротивлений арматуры со случайными свойствами при многостержневом армировании в различных железобетонных конструкциях.

### Расчетная модель

В настоящее время необходимое количество арматуры подбирают по расчетным сопротивлениям  $R_s$  приведенных в нормах, которые определяются по так называемому правилу трех стандартов не зависимо от количества стержней в сечении. В этом случае расчетное сопротивление оказывается равным минимальной прочности  $R_{min}$ , при разрыве одного арматурного элемента с прочностью  $R_{min}$  предполагается, что прочность остальных стержней будет одинакова и равна также минимальной. При таком подходе не учитывается совместная работа остальных арматурных стержней с прочностью, превышающей  $R_{min}$  в составе железобетонной конструкции. В результате прочность этих стержней не используется, что приводит к излишнему и необоснованному расходу арматурной стали.

Если считать, что прочность всех арматурных элементов одинакова, становится неизбежным отрицание факта существования кривой распределения прочности арматуры и признана последней в качестве материала с детерминированной прочностью.

В предельном состоянии напряжения в арматуре достигают предела текучести. Усилия в отдельных стержнях многоэлементной арматуры в предельном состоянии неодинаковы и зависят от статистического разброса прочностных и деформативных свойств арматуры, как видно из рисунка 1.

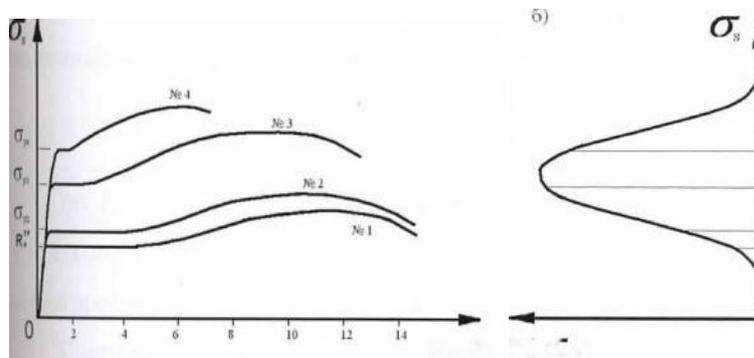


Рис. 1. Диаграмма арматурной стали  $\sigma$ - $\epsilon$

В работах кафедры «Строительные конструкции» Российского университета транспорта назначение

расчетных сопротивлений предложено осуществлять с учетом разброса случайных параметров.

Исследованию вероятностно-статистических методов расчета, назначению расчетных сопротивлений посвящены также работы зарубежных авторов, в числе которых В. Paspolevicius [8], G. Augusti, A. Baratta, F. Casciati [9].

Основой для статического анализа прочности многоэлементной арматуры служит не строго зафиксированное расчетное сопротивление  $R_s$ , принятое в технических условиях, а полное усилие в арматуре в момент отказа.

С этой целью при назначении расчетных сопротивлений необходимо рассматривать не в отдельной точке, соответствующей трем стандартам, а в области возможных значений прочности арматуры с по следующим суммированием напряжений в каждом арматурном цементе для получения суммарного усилия  $Z_s$ .

Коэффициент вариации распределения прочности многоэлементной арматуры:

$$V_n = \frac{V_1}{\sqrt{n}};$$

где  $V_1$  – коэффициент вариации, полученный при стандартном испытании ( $n = 1$ );  $n$  – число арматурных стержней.

$\bar{R}_s^{(1)}$ ,  $\bar{R}_s^{(1)}$  – среднее значение и среднеквадратическое отклонение прочности арматуры при испытании одиночных стержней.

Расчетное и нормативное сопротивление многоэлементной арматуры:

$$R_s^{(n)} = \bar{R}_s^{(1)} \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot V_1}{\sqrt{n}}\right);$$

$$R_{sn}^{(n)} = \bar{R}_s^{(1)} \cdot \left(1 - \frac{1,64 \cdot V_1}{\sqrt{n}}\right);$$

или в относительном виде:

$$R_s^{(n)} = R_s^{(1)} \cdot f(n);$$

$$R_{sn}^{(n)} = R_s^{(1)} \cdot f(n)_n.$$

Функции, учитывающие повышение расчетного и нормативного сопротивлений многоэлементной арматуры:

$$f(n) = \frac{1 - \frac{3 \cdot V_1}{\sqrt{n}}}{1 - 3 \cdot V_1}; \quad f(n)_n = \frac{1 - \frac{1,64 \cdot V_1}{\sqrt{n}}}{1 - 1,64 \cdot V_1}.$$

Увеличение числа элементов (проволок или стержней) приводит к повышению расчетных сопротивлений арматуры, так как ее работа приближается к работе системы с параллельным соединением элементов.

Расчетное сопротивление многоэлементной арматуры для различного количества стержней:

Таблица 1

Расчетное сопротивление многоэлементной арматуры для различного количества стержней

Класс арматуры	Диаметр, мм	Коефф-т вариации $V_1$	Количество стержней $n$ , шт.											
			1	2	4	6	8	10	26	38	60	80	100	
A240	6–40	0,05	215	227	235	239	240	240	240	240	240	240	240	240
A400	10–40	0,05	355	381	394	400	400	400	400	400	400	400	400	400
A500C	10–40	0,05	435	481	498	500	500	500	500	500	500	500	500	500

Таблица 2

Расчетное сопротивление многоэлементной арматуры для различного количества стержней

Класс арматуры	Диаметр, мм	Коефф-т вариации $V_1$	Количество стержней $n$ , шт.											
			1	2	4	6	8	10	26	38	60	80	100	
A400	10	0,0241	377	386	392	395	396	397	400	400	400	400	400	400
A400	36	0,0248	367	375	381	384	386	387	390	391	392	393	393	393
A500C	10	0,0275	481	493	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
A500C	16	0,0187	466	474	480	483	484	485	486	489	490	491	491	491

На основе предложенных расчетных зависимостей получены значения расчетных сопротивлений многоэлементной арматуры при различном количестве стержней и коэффициентах вариации распределения предела текучести. Проанализировано изменение расчетных сопротивлений при нормируемом в ГОСТе коэффициенте вариации 0,05 и фактических коэффициентах вариации по сертификатам на поставку арматурной стали.

Установлено, что с увеличением числа стержней или проволок коэффициент вариации предела текучести уменьшается, а расчетное сопротивление многоэлементной арматуры с ярко

выраженными пластическими свойствами увеличивается, приближаясь к среднему значению предела текучести в партии.

В расчетах прочности многоэлементной арматуры следует применять партионный коэффициент вариации  $V_1$ , полученный для внутривлажного рассеивания прочности арматуры.

На основе анализа статистической информации установлено, что партионный коэффициент вариации  $V_1$  в 1,5–2,0 раза меньше коэффициента вариации прочности арматуры в генеральной совокупности.

Рассмотрим арматуру фундамента как многоэлементную систему со случайными свойствами.

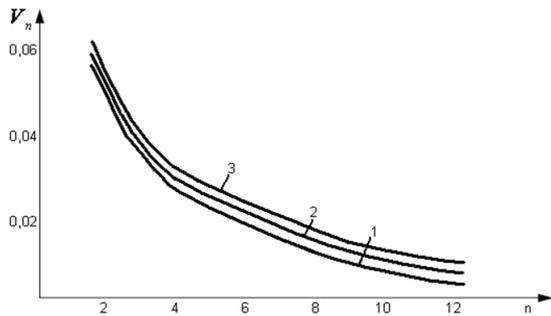


Рис. 2. Диаграмма партионных коэффициентов вариации:  
1 - при  $V_1 = 0,02$ , 2 - при  $V_1 = 0,04$ , 3 - при  $V_1 = 0,06$



Рис. 3. Диаграмма  $V_{part}$  - количество стержней арматуры  $n$

Таблица 3

**Требуемая площадь многоэлементной арматуры фундамента**

п/пс	Расчетное сопротивление, МПа	Шаг, мм	Диаметр, мм	Количество стержней, шт.	Площадь арматуры, см <sup>2</sup>
<b>Расчет по нормативной методике</b>					
1	355	140	10	17	13,345
2	355	270	14	9	13,851
3	355	340	16	7	14,077
4	355	400	18	6	15,270
<b>Расчет по методике М. В. Шавыкиной</b>					
1	400	160	10	15	11,850
2	395	300	14	8	12,312
3	392	400	16	6	12,596
4	390	480	18	5	12,725

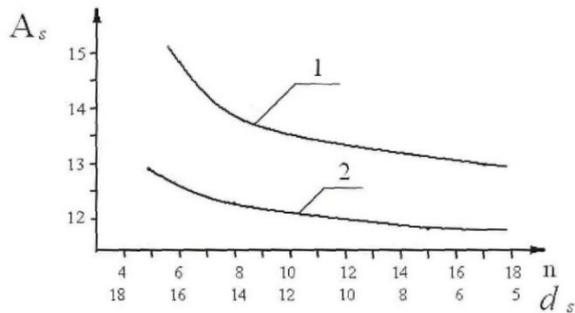


Рис. 4. Диаграмма  $A_s - d_s$ ,  
где 1 - расчет по нормативной методике;  
2 - расчет по методике М. В. Шавыкиной

На серии тестовых задач показано, что в связи с учетом эффекта совместной работы стержней в составе многоэлементной арматуры расчетное сопротивление увеличивается в среднем на 5–10 %, что приводит к снижению расхода арматуры в железобетонных конструкциях.

Наибольший эффект совместной работы стержней в стадии текучести проявляется тогда, когда применяется арматура относительно небольшого диаметра, так как в этом случае число стержней в конструкции необходимой площади армирования увеличивается.

**Выводы**

1. Основой для определения расчетных сопротивлений многоэлементной арматуры со случайными свойствами является анализ фактического напряженного состояния стержней в стадии текучести с учетом статических данных о прочностных и деформативных свойствах арматуры.

2. В стадии текучести, соответствующей наступлению предельного состояния арматуры, напряжения в стержнях многоэлементной арматуры различны и при совместной работе по восприятию усилий от нагрузки их среднее значение превышает минимальный предел текучести, установленный в нормативных документах.

3. Установлено, что для учета фактических условий работы стержней в железобетонной конструкции в качестве исходной статической информации для определения расчетных сопротивлений следует применять партионное распределение предела текучести арматуры как случайной величины.

4. Установлено, что с увеличением числа стержней или проволок коэффициент вариации предела текучести уменьшается, а расчетное сопротивление многоэлементной арматуры с ярко выраженными пластическими свойствами увеличивается, приближаясь к среднему значению предела текучести в партии.

**Список литературы**

1. Хоциалов Н. Ф. Запасы прочности / Н. Ф. Хоциалов // Строительная промышленность. – 1929. – №10.
2. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын. – Москва : Стройиздат, 1988. – 239 с.
3. Стрелецкий Н. С. Основы статистического учета коэффициента прочности сооружений / Н. С. Стрелецкий. – Москва : Стройиздат, 1947.
4. СТО 36554501-005-2006. Применение арматуры класса А500СП в железобетонных конструкциях. – Дата введения 2006–07–15. – Москва : ФГУП «НИЦ «Строительство», 2006. – 21 с.

5. ГОСТ Р 5 2544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. – Дата введения 2007–01–01. – Москва : Стандартиформ, 2007. – 23 с.
6. Геммерлинг А. В. Об определении надежности строительных конструкций / А. В. Геммерлинг // Строительная механика и расчет сооружений. – 1972. – № 6.
7. Федоров В.С. Строительные конструкции : учебник / В. С. Федоров, Я. И. Швидко, В. Е. Левитский. – Москва : Кнорус, 2020. – 396 с.
8. Paspolevicius V. Probabilistic and statistical methods for designing and analyzing limit states / V. Paspolevicius // Journal of Civil Engineering and Management. –2001. – Vol. 7, № 5. – P. 413–416.
9. Augusti G. Probabilistic Methods in Structural Engineering / G. Augusti, A. Baratta, F. Casciati. – London , New York : Chapman and Hall, 1984. – 584 p.
10. Железобетонные конструкции : учебник : в 2 ч. / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, В. С. Федоров, И. А. Терехов. – 2-е издание, дополненное и переработанное. – Москва : АСВ, 2022. – 388 с. – ISBN 978-5-4323-0437-7. – EDN RSYIVL.
11. Федоров В. С. Расчетная модель сопротивления сдвигу составного железобетонного стержня / В. С. Федоров, Х. З. Баширов // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 1. – С. 109–111. – EDN YMQVQP.
12. Федоров В. С. Расчет расстояния между пространственными трещинами и ширины их раскрытия в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом (случай 2) / В. С. Федоров, В. И. Колчунов, А. А. Покусаев // Жилищное строительство. – 2016. – № 5. – С. 16–21. – EDN WEFABR.
13. Федоров В. С. Предложения по развитию методики расчета по деформациям составных внецентренно сжатых элементов / В. С. Федоров, Х. З. Баширов, Д. В. Казаков // Строительство и реконструкция. – 2012. – № 2 (40). – С. 85–88. – EDN OZMCDN.
14. Travush V. I. Theoretical Substantiation of the Mechanism Patterns of the Manmade Base "Structural Geotechnical Solid" / V. I. Travush, V. S. Fedorov, O. A. Makovetskiy // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2020. – Vol. 16, № 4. – P. 103–110. – DOI: 10.22337/2587-9618-2020-16-4-103-110. – EDN LCMGYD.

© М. В. Шавыкина, П. С. Борисов

**Ссылка для цитирования:**

Шавыкина М. В., Борисов П. С. Уточнение методики определения расчетного сопротивления многоэлементной арматуры со случайными свойствами // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 2 (48). С. 63–67.

УДК 72.01; 72.04

DOI 10.52684/2312-3702-2024-48-2-67-72

**СТИЛИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОДЕРНА АБХАЗИИ  
ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XIX – НАЧАЛА XX ВЕКА**

*Л. А. Смехота*

**Смехота Лариса Александровна**, старший преподаватель кафедры «Архитектура», Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация; e-mail: smekhota.la@gs.donstu.ru

В работе рассматриваются памятники архитектуры направления модерна в Абхазии во второй половине XIX – начале XX века. Цель исследования – изучение аспектов архитектуры, включая архитектурную образность, формообразование и стилиобразование направления модерна в архитектуре Абхазии. Рассматриваются тенденции и культурные влияния, сформировавшие историческую застройку города Сухум. В статье выделяются оригинальные архитектурно-художественные приемы и ключевые особенности построек направления модерна данного региона. В работе используется стилистический метод анализа архитектуры. В рассмотренных зданиях определены стилистические течения направления модерна. Результаты работы могут быть использованы при составлении исторических справок о памятниках архитектуры Абхазии.

**Ключевые слова:** стиль модерн, сухумский модерн, направления модерна, рациональный модерн, иррациональный модерн, декоративный модерн, флоральное течение модерна.

**STYLISTIC FEATURES OF MODERN VIEW OF ABKHAZIA IN THE SECOND HALF  
OF THE 19th – EARLY 20th CENTURIES**

*L. A. Smekhota*

**Smekhota Larisa Aleksandrovna**, Senior Lecturer of the Department of Architecture, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation; e-mail: smekhota.la@gs.donstu.ru

The work examines the architectural monuments of the Art Nouveau movement and determines their stylistic features. Art Nouveau architecture in Abkhazia is too diverse, so more detailed research is required to identify the stylistic trends of Art Nouveau. The work uses the stylistic method of analyzing architecture. In the buildings examined, the stylistic trends of the Art Nouveau direction were identified. The stylistic features of the selected buildings are determined. The results of the work can be used in the preparation of hysterical certificates about the architectural monuments of Abkhazia. The results of the work can be used in compiling hysterical references about the architectural monuments of Abkhazia.

**Keywords:** Art Nouveau style, Sukhumi Art Nouveau, Art Nouveau trends, rational Art Nouveau, irrational Art Nouveau, decorative Art Nouveau, floral Art Nouveau movement.

**Введение**

В конце конца XIX века во многих европейских странах начало формироваться и распространяться новое стилистическое направление – модерн. За короткий промежуток времени он покорила многие страны и вообрал в себя новые формы и черты. В самом направлении модерна в разных странах появляются деления на течения. Интерес к

архитектуре модерна от части связан с его непохожестью на существующие стили, с его гибкостью к всему новому бросающему вызов канонам.

После русско-турецкой войны 1877–1878 гг., русские и европейские зодчие восстанавливали разрушенные здания, возводили новые. В Абхазию последовали крупные промышленники, такие как Яков Семенович Кушнарев, Иван и Акилле