

Materials Science and Engineering. - 2019. - Vol. 698 : International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development", 1–5 October 2019, Kislovodsk, Russian Federation. - № 055040. - URL : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/5/055040/pdf>

16. Хецуриани Е.Д., Бондаренко В.Л., Ылясов А.И., Семенова Е.А. Development of protective measures providing environmental safety in areas affected by water-intake constructions of urban households [Электронный ресурс] IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - Vol. 698 : International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development", 1–5 October 2019, Kislovodsk, Russian Federation. - № 077053. - URL : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/7/077053/pdf>

17. Хецуриани Е.Д., Бондаренко В.Л., Ылясов А.И. Научно-методологические основы экологической безопасности на водозаборных технологических комплексах систем многоцелевого водоснабжения : монография, / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова и др. ; под общей редакцией Л. Н. Фесенко. - Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2020. - 324 с.

© Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, А. И. Ылясов, Т. Е. Хецуриани

Ссылка для цитирования:

Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, А. И. Ылясов, Т. Е. Хецуриани. Конструктивно-технологическая система обеспечения экологической безопасности водозаборных технологических комплексов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАOU АО ВО «АГАСУ», 2020. № 1 (31). С. 55–60.

УДК 624.21: 625.745.12

**БИОНИЧЕСКИЙ АСПЕКТ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВ
НА ПРИМЕРЕ АВТОМОБИЛЬНОГО МОСТА В ВОЛГОГРАДЕ**

Н. В. Иванова^{1,2}, А. В. Макаров¹, С. А. Калиновский¹

¹Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

²Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия

Исследование направлено на разработку модели бионического моста, формирующего культурный ландшафт, общественные участки города и динамично развивающуюся береговую линию с целью обеспечения комфортной сферы жизненного пространства. Анализировалась история и новые приемы формообразования в мостостроении Волгограда. Выделены основные методологические подходы к бионическому проектированию инженерных сооружений и возможность их использования в формообразовании мостовых конструкций в структуре современного города. Методология базируется на теоретических основах моделирования и конструирования мостов различного функционального назначения с учётом современных тенденций в бионических подходах проектирования. Разработанная методика нового строительства и реконструкции бионического моста может быть использована в отечественном и зарубежном проектировании в сходных градостроительных условиях. Экспериментальное проектирование поддерживалось расчетами бионического подхода.

Ключевые слова: мостостроение, бионическое проектирование, бионические расчеты, форма сооружения, распределение усилий, прочность материалов.

BIONIC ASPECT OF BUILDING OF BRIDGES ON EXAMPLE OF MOTOR-CAR BRIDGE IN VOLGOGRAD

N. V. Ivanova^{1,2}, A. V. Makarov¹, S. A. Kalinovsky¹

¹Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

²Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

The research is aimed at developing a model of a bionic bridge that forms a cultural landscape, public areas of the city and a dynamically developing coastline in order to provide a comfortable sphere of living space. The history and new methods of shaping in the bridge construction of Volgograd were analyzed. The main methodological approaches to the bionic design of engineering structures and the possibility of their use in the formation of bridge structures in the structure of the modern city are highlighted. The methodology is based on the theoretical foundations of modeling and construction of bridges for various functional purposes, taking into account current trends in bionic design approaches. The developed method of new construction and reconstruction of the bionic bridge can be used in domestic and foreign design in similar urban conditions. The experimental design was supported by calculations of the bionic approach.

Keywords: bridge building, bionic design, bionic calculations, the shape of the structure, the distribution of forces, the strength of materials.

Что может сравниться со строительством моста?

Прокладывая сушу над водой, мы соединяем миры.

цитата из фильма «Призрак и Тьма»

Человечество строит мосты десятки тысяч лет. Первые инженерные сооружения носили чисто утилитарный характер преодоления природных преград и поэтому их конструкции не нуждались в украшениях. Только два слова знаменитой триады Витрувия «Firmitas, Utilitas, Venistas» имели отношение к мостовым сооружениям [1]. Их строили прочно, эксплуатировали для пользы, а об архитектурной выразитель-

ность (красоте) – не задумывались. В последние годы интерес вызывает применение новых приемов формирования мостовых сооружений. В практике инженерного проектирования накоплен значительный опыт создания новых архитектурно-конструктивных форм мостовых сооружений. Можно выделить висячий мост Самюэля Брауна, напоминающий паутину, мост Мир Сантьяго Калатравы, вантовый пешеход-

ный мост Мира через реку Кура в Тбилиси, мост Питон в Амстердаме, змеевидный (сетчатый) мост в австралийском Мельбурне, арочный пешеходный мост - бабочка в английском Бедфорде, пешеходный мост «Тюльпан» в Амстердаме. Все они объединены бионическим подходом, идейно-концептуальной основой знаний о живой природе для решения проблем мостостроения, касающихся проектирования, строительства и мониторинга [2].

Целью исследования является обоснование бионического подхода в проектировании мостов.

Задачами исследования выступают:

- анализ преимуществ и особенностей конструктивного решения бионических мостов;
- исследование исторических этапов развития мостостроения в Царицыне-Волгограде;
- разработка принципов бионического построения современных мостов;
- выполнение экспериментальных расчетов проектирования бионических мостов.

Поиски решения общих проблем и направлений формирования образов инженерных сооружений рассматриваются при эстетической и конструктивной оценке исторических мостов [1–3]. Авторы отмечают, что мосты в городской структуре выполняют функциональное назначение и выступают как символы и объекты культуры. Это мостовые сооружения старых городов Европы, современные мосты разного назначения и разновидностей (рекреационные, велосипедные, пешеходные), с бионическим подходом, использованием принципа самонапряженных конструкций и другие [4, 5].

Раскрываются вопросы разработки прочности, устойчивости мостовых сооружений и новых подходов к расчету современных железобетонных, металлических и биметаллических мостов, позволяющие создавать новые оригинальные сооружения. Использование современных методов оценки работы конструкций, на основе учета всех факторов воздействия и свойств материалов [6, 7]. Во многих работах вопросы нового проектирования и реконструкция приречных территорий, совершенствования визуальных основ застройки речных городов, трансформации постиндустриальных ландшафтов в социально ориентированное пространство набережной, связаны со строительством мостов, которые начинают выступать как центры городских композиций и общественных пространств [8, 9].

Бионические образы мостовых сооружений стали реальностью, известны примеры осуществления концепции бионики в создании современных ландшафтов (остров-пальма), строительства современных мостов в странах Европы и Америки, в проектировании новых мостов в России [9]. Бионический подход в архитектуре мостов рассматривается как основа экономики

материалов, прочности конструкций, совершенствование эстетики образа мостовых сооружений и перспективного направления в развитии инженерных конструкций [10].

Метод «Оценки конструктивных и эстетических особенностей бионических мостов»

Оценка конструктивных особенностей бионических мостов

Оценка конструктивных особенностей связывается с вопросами формообразования мостовых конструкций. Смещение приоритетов с прямолинейных, балочных, арочных или рамных конструкций на наиболее эффективные комбинированные. Современные методы расчета мостовых конструкций, заложенные в программные комплексы, позволяют проанализировать статическое, динамическое поведение даже весьма сложных необычных и красивых мостовых сооружений, а современные высокопрочные строительные материалы позволяют реализовать проекты.

Оценка пролетное строение моста

Ранее пролетное строение представляло собой единую конструкцию (разрезную, не разрезную, перекрывающую несколько пролетов). Конструкция бионических мостов изменилась: ее разделяют на отдельные плоскости: линейно продольными сечениями (мост веер), линейно поперечными сечениями, сегменты, объединенные шарнирами, а иногда косыми сечениями (мост женщины в Буэнос-Айресе). Особенность заключается в том, что деление плоскости проявляется лишь в движении - при разводе моста. Другой конструктивной особенностью является положение пилота вантового моста. Он принимает разные формы: в виде арфы (мост Джеймса Джойса в Дублине), в виде наклонной стрелы, пилон с изломом или буквы X (Мост в Сан Паулу, Бразилия).

Оценка эстетических особенностей бионических мостов

С начала XIX века в России мосты стали украшаться декоративными элементами (скульптурами, башнями, колоннадами), которые не вписывались в систему конструкций моста. Стиль модерн отразился в единственном российском образце транспортных сооружений - порталной раме петербургского моста имени Петра Великого. Отношение архитекторов к транспортным сооружениям изменилось сначала с распространения стиля ар-нуво (плавные переходы, листики, закругления, фонари из стали), затем с появлением бионических подходов проектирования (стилизация растительных мотивов, образа птиц).

На сегодняшний день инженерами созданы мосты, поражающие воображение: самый большой пролет перекрыт висячим мостом Акаши Кайкье (Япония), самый большой вантовый

пролет имеет мост на остров Русский (Россия), самый большой арочный мост Лупу (Китай).

Определение общего состояния

Проблема мостов стояла в Царицыне очень остро, поскольку город был расположен в местности с большим числом оврагов, а мостов через них к началу XX века было всего три. Первый деревянный мост через Царицу был построен в 1868 году. Мост назван Астраханским потому, что являлся продолжением улицы Астраханской (ныне Советская), (рис. 1) [11].



Рис. 1. Архивная фотография Астраханского моста

В 1911 году началось строительство железобетонного моста на месте устаревшего деревянного. Через три года строительство было завершено. Это был первый железобетонный мост через Царицу в городе.

Проект современного моста через Царицу был выполнен Проектным институтом «Волгоградгражданпроект». Начало строительства моста – 1958 год, в эксплуатацию сдан в 1964 году. На рубеже XXI века мост был капитально отремонтирован и немного расширен. Тип пролетных строений: 5 пролетных строений комбинированной системы (балки, усиленные гибкими арками) 4 балочных пролетных строения. Характеристики моста: автомобильно – пешеходный; тип конструкций – бетонный, длина 288 м, ширина 27 м (6 полос) (рис. 2).



Рис. 2. Астраханский мост сегодня

Методика обследования технического состояния Астраханского моста

Астраханский мост эксплуатируется в течение 55 лет. Сооружение хорошо вписано в профиль города (находится в одном уровне с улицами), уклон моста односторонний 5 промилле, достаточный для естественного стока воды. Проектное решение было представлено двумя вариантами. По первому варианту, мост имел неразрезную балочную систему с различной величиной пролетов от 24 до 32 метров.

Второй вариант представлял собой пять разрезных пролетов комбинированной системы – балка, усиленная гибкой аркой с пролетами по 40 м и неразрезные балочные крайние

пролеты небольшой длины. Проведенная реконструкция моста в начале нынешнего века, внесла изменения в конструкцию и внешний вид: изменена конструкция тротуара; крайние арки усилили железобетонными «рубашками»; устроен организованный водоотвод [12].

Для анализа технического состояния моста авторами была разработана методика проведения комплексного обследования, которая заключается в следующем. Выявление дефектов несущих конструкций, влияющих на грузоподъемность и долговечность моста; выявление дефектов элементов проезжей части снижающих безопасность проезда и прохода по мосту; отыскание признаков, влияющих на эстетическую привлекательность объекта, несущего в образе бионические мотивы (рис. 3).

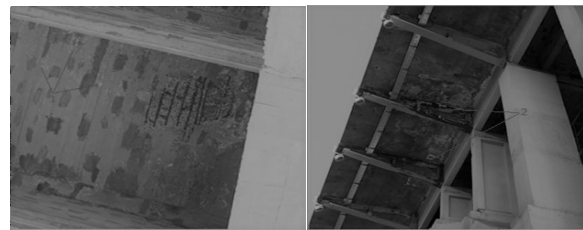


Рис. 3. Обследование моста:
а) разрушение плиты; б) тротуарные консоли

Дефекты главной несущей конструкции являются угрозой долговечности и снижают грузоподъемность мостового сооружения. Арки пролетных строений имеют продольные трещины, разрушение защитного слоя бетона; обнажена и корродирует продольная рабочая арматура.

Арки моста имеют параболическое очертание, следовательно, изгибающие моменты в сечениях – минимальны.

Исследования показали, что в процессе эксплуатации моста в плите проезжей части возникли снижающие грузоподъемность и долговечность дефекты (разрушение защитного слоя бетона плиты около 2 квадратных метров). Это послужило толчком к началу коррозии нижней арматурной сетки [13]. Цементный камень бетона конструкции также имеет дефекты. Это выщелачивание, которое проступает в виде белесого налета на поверхности плиты и тротуарной консоли. Стальные кронштейны, поддерживающие консольную тротуарную плиту, имеют значительное коррозионное повреждение; защитное лакокрасочное покрытие разрушено на их значительной длине [14].

Разработка экспериментальной части

Экспериментальная часть была проведена в соответствии с методикой, предложенной А.В. Макаровым [15], заключающейся в следующем: использование современных материалов высокой прочности в тех сечениях и пропорциях, которые испытывают перенапряжение и создание форм позволяющих в полной мере ис-

пользовать унификацию конструктивных частей, а также позволяющих последовательно разгружать перегруженные элементы.

Экономически эффективным можно запроектировать биметаллическое пролетное строение лишь при условии использования прочного металла для сечений с большими усилиями. Унификация конструкции требует, чтобы пролетные моменты во всех пролетах были бы равными. Рассмотрим наиболее широко применяющееся трех пролетное неразрезное пролетное строение цельнометаллического моста, загруженного равномерной нагрузкой $q_{\text{пост}}$ (собственный вес).

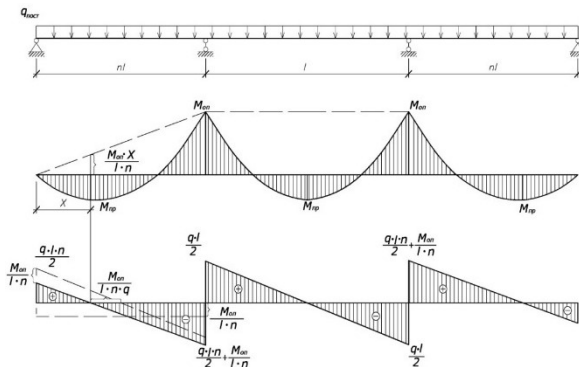


Рис. 4. Схема пролетного строения с равными пролетными изгибающими моментами

Опорные моменты составят

$$M_{\text{оп}} = -\frac{q \cdot l^2 (n^3 + 1)}{4(2n + 3)} \quad (1)$$

В центральном пролете максимальный пролетный момент действует в среднем сечении, а в крайних отстоит от середины на величину $\frac{M_{\text{оп}}}{l \cdot n \cdot q}$, как показано на (4). Приравняем максимальные изгибающие моменты в крайнем и среднем пролетах и получим следующее выражение (2):

$$\frac{q l^2}{8} - \frac{q l^2 (n^3 + 1)}{4(2n + 3)} = \left(\frac{q l \cdot n}{2} - \frac{M_{\text{оп}}}{l \cdot n} \right) \cdot \left(\frac{q l}{2} - \frac{M_{\text{оп}}}{l \cdot n \cdot q} \right) - \frac{q}{2} \left(\frac{l \cdot n}{2} - \frac{M_{\text{оп}}}{l \cdot n \cdot q} \right)^2 \quad (2)$$

Подставляя значение $M_{\text{оп}}$ и решая трансцендентное уравнение относительно n , получим $n = 0,794$. Именно при таком n моменты будут одинаковы.

Бионические расчеты мостов

Известно, что арочные системы на фундамент и основание большие распоры, что сокращает ареал их использования на слабых грунтах. Многопролетные арочные мосты с равновеликими пролетами (рис. 5) будут передавать на фундаменты большое горизонтальное давление H в крайних опорах. Для восприятия такого давления необходим мощный фундамент, способный сопротивляться сдвигу.

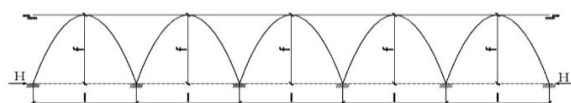


Рис. 5. Схема арочного моста с равными пролетами

Центральные фундаменты испытывают большое вертикальное давление от смежных пролетов, но свободны от сдвиговых нагрузок за счет компенсации горизонтальных усилий. В этом случае надежные фундаменты являются материалоемкими и затратными: промежуточные из-за больших вертикальных нагрузок, крайние из-за громадного распора.

Предлагается проектирование разновеликих пролетов арочного моста, постепенно уменьшая величину пролетов от середины к устоям. В этом случае распоры смежных пролетов полностью не компенсируются, так как в меньшем пролете распор меньше за счет уменьшения пролета с другой. В этом случае промежуточные фундаменты не станут больше. Запроектированные воспринимать большие вертикальные нагрузки они воспримут и небольшие горизонтальные усилия. Крайние же фундаменты можно серьезно облегчить из-за существенного уменьшения сдвиговых усилий. На примере моста, приведенного на рисунке 6, показано, что в случае последовательного уменьшения пролетов горизонтальное давление распределяется между всеми фундаментами.



Рис. 6. Схема моста с уменьшающимися пролетами

Основной пролет при $f/l = 0,1$, $H = 1,25ql$. Смежный пролет: пролет $0,8l$ тогда $f/l = 0,125$ и распор в этом случае равен $1,0ql$ отнесенное к размерам основного составит $0,8$ ql . Разница горизонтального давления основного и смежного пролета составит $0,45 ql$ или $0,36H$.

Уменьшение пролетов арочного моста последовательно на 20 процентов позволяет выровнять усилия, передаваемые на фундаменты арок и уменьшить их размеры. К тому же арки с симметричным уменьшением пролетов от середины к краям являются архитектурно выразительным сооружением.

Заключение

1. Мостовые являются ключевыми объектами структуры города, участвуют в формировании культурных ландшафтов, прибрежных и динамично развивающихся общественных зон.

2. Бионические подходы в конструктивных расчетах позволят создавать уникальные и экономичные формы функционально и эстетически ориентированных мостов.

3. Предлагаемая методика позволяет создавать мостовые сооружения, обладающие формой с лучшим распределением усилий и отличающиеся высокой эффективностью использования прочностных свойств материалов.

Список литературы

1. Витрувий. Десять книг об архитектуре / Пер. с лат. Ф.А. Петровского. М.: Изд-во Академии архитектуры, 1936, 256 с.
2. Агамирова, Е.В., Лапочкина, В.В. Мосты в событийном пространстве города. Современные проблемы сервиса и туризма. 2013. № 2. С. 40-49.
3. Le Corbusier Vers une architecture, Том 1 /Bottega d'Erasmus, 1995, 253с.
4. Сыченкова, Л.А. Люцернские мосты- музеи: опыт культурологического осмысления. Вопросы музеологии. 2016. № 1 (13). С. 131-141.
5. Покка, Е.В., Агишева, И.Н. Функциональное своеобразие современных рекреационных мостов. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 1 (23). С. 48-54.
6. Макаров, А.В., Кульбин, С.В. Новый способ усиления мостовых пролетных строений из композитных материалов. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 48 (67). С. 140-149.
7. Makarov, A.V., Kalinovsky, S.A. Methods of regulating thrust in design of arch bridges// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018.
8. Иванова, Н.В., Ганжа, О.А., Прокопенко, В.В. Landscape and Ecological Formation of Hybrid Spaces at Revitalization of Postindustrial Landscape of the Volgograd Embankment [Электронный ресурс] // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies (International Scientific Conference "FarEastCon") (2-4 October 2018, Vladivostok, Russian Federation). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - [Publishing IOP], 2018. - Vol. 463, p. 1. - 7 p. - URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/2/022100>.
9. Ерышева, Е.А., Моор, В.К. Формирование архитектурного ансамбля улицы Светланской во Владивостоке. Вестник Инженерной школы ДВФУ [научный электронный журнал; сетевое издание]. 2012. № 2 (11) URL: dvfu.ru/upload/medialibrary/7ae/2012-2-7%20Ерышева.pdf
10. Girard, L.F. Toward a Smart Sustainable Development of Port Cities/Areas: The Role of the "Historic Urban Landscape" Approach. Sustainability 2013;5(10):4329-4348. doi: 10.3390/su5104329.
11. Мост через р. Царица в г. Волгограде URL://www.bridgeart.ru/bridges/different-bridge/247-carica-bridge.html (дата обращения 8.12.2019 г.)
12. Митрофанов, Ю.М., Попов, О.А., Харебава, Ж.А. Возрождение конструкций пролетных строений мостов из монолитного железобетона. Строительство моста через р. Царицу в г. Волгограде // Трансп, стр-во. - 1990. - № 11. - С. 12-16]
13. Макаров, А.В., Гулуев, Г.Г., Шатлаев, С.В. Реконструкция путепровода как требование безопасности. // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: ivdon.ru/gu/magazine/archive/n2y2017/4161
14. Макаров, А.В., Тян В.Ю., Журавлев А.В. Астраханский мост в Волгограде: символ и проблемы [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. - 2018. - № 4. - 9 с. - URL: <http://ivdon.ru/gu/magazine/archive/n4y2018/5320>.
15. Макаров, А.В., Купрещенков, А.Э. К вопросу о проектировании биметаллических мостов. Инженерный вестник Дона. 2018. № 2 (49). С. 176.

© Н. В. Иванова, А. В. Макаров, С. А. Калиновский

Ссылка для цитирования:

Н. В. Иванова, А. В. Макаров, С. А. Калиновский. Бионический аспект строительства мостов на примере автомобильного моста в Волгограде. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАСУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 1 (31). С. 60–64.

УДК 712(470.45)

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ
ЗЕЛЕННОГО КОЛЬЦА ВОКРУГ ГОРОДА НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДА**

Н. В. Иванова^{1,2}, И. Ю. Подковыров²

¹Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

²Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия

Представлена разработка модели внешнего Зеленого кольца города, формирующего заслон от негативных природно-климатических явлений, с целью обеспечения комфортного внутреннего жизненного пространства. Обоснуются ландшафтные решения, повышающие потенциал ассортимента плодово-ягодных пород нового породно-сортового районирования и экономическую эффективность садоводства. Анализировалась история строительства зеленого кольца Волгограда с позиций урбологоведения. Экспериментальное проектирование поддерживалось разработанной моделью Зеленого кольца города и конструированием насаждений различного функционального назначения с учётом современных тенденций в ландшафтной урбанистике (пространственная организация, расширение видового и разновозрастного состава насаждений, повышение устойчивости и рекреационной привлекательности). Полученные предложения по методике строительства ландшафтного объекта могут быть использованы в строительстве в сходных природных условиях.

Ключевые слова: зеленое кольцо, история строительства, конструкции полос.

**DEVELOPMENT OF MODEL OF LANDSCAPE-ECOLOGICAL RECONSTRUCTION
OF GREEN RING ROUND CITY ON EXAMPLE OF VOLGOGRAD**

N. V. Ivanova^{1,2}, I. Yu. Podkovyrov²

¹Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

²Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

The development of a model of the outer Green Ring of the city is presented, which forms a barrier against negative climatic phenomena in order to ensure a comfortable internal living space. Landscape decisions will be substantiated, increasing the potential of the assortment of fruit and berry species of the new breed-varietal zoning and the economic efficiency of gardening.