

*На правах рукописи*

**ОЛЕШКО**  
**Вячеслав Алексеевич**

**МЕТОДИКА ПРЕДПРОЕКТНОГО ОБОСНОВАНИЯ  
ВЫБОРА СТВОРОВ И ПАРАМЕТРОВ МАЛЫХ  
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 05.23.07 — Гидротехническое строительство

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2016

Работа выполнена в Акционерном обществе  
«Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники  
имени Б.Е. Веденеева»

Научный руководитель: **Иванов Тимофей Сергеевич**  
кандидат технических наук, заведующий  
отделом «Технико-экономических  
обоснований объектов водного хозяйства  
и энергетики»,  
АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Официальные оппоненты: **Асарин Александр Евгеньевич**  
доктор технических наук, профессор,  
заместитель начальника отдела  
водохранилищ и охраны окружающей  
среды АО «Институт Гидропроект»,  
(г. Москва)

**Беликов Виталий Васильевич**  
доктор технических наук, главный  
научный сотрудник лаборатории  
гидрологии речных бассейнов  
ФГБУН Институт водных проблем РАН,  
(г. Москва)

Ведущая организация: Закрытое акционерное общество  
«Межотраслевое научно-техническое  
объединение «ИНСЭТ»  
(г. Санкт-Петербург)

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г. в \_\_\_ часов  
на заседании диссертационного совета по защите докторских  
и кандидатских диссертаций ДМ 512.001.01  
при АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева»  
по адресу: 195220, Санкт-Петербург, Гжатская ул., д. 21  
Телефакс (812) 535-54-45, E-mail: vniig@vniig.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» и на сайте [www.vniig.rushydro.ru](http://www.vniig.rushydro.ru)

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета, кандидат технических наук

Иванова Т.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

**Актуальность работы.** Ежегодный рост электропотребления на душу населения с одновременным истощением запасов ископаемого топлива и всё более жёсткими экологическими требованиями обуславливают значительные темпы развития гидроэнергетического строительства в ряде стран мира. При этом активное развитие получает не только крупная, но и малая гидроэнергетика. Так в Китае, являющемся на данный момент мировым лидером по суммарной мощности гидроэлектростанций, мощность малых ГЭС к 2013 году составляла 65 ГВт, что превышает суммарную мощность всех ГЭС России. В России к малым гидроэлектростанциям (МГЭС) относят станции с установленной мощностью от 0,5 до 25–30 МВт.

Малые ГЭС обладают рядом преимуществ по сравнению с крупными ГЭС:

более низкая абсолютная капиталоемкость, более короткий инвестиционный цикл и меньший срок ввода в эксплуатацию;  
экологические воздействия менее глобальны.

Строительство малых ГЭС в России актуально в связи с тем, что около 20 млн. людей проживают в регионах, удалённых от централизованного энергоснабжения. В таких регионах зачастую используются малоэффективные, дорогие в эксплуатации и изношенные дизельные установки. Перспективным для таких районов представляется переход на электро-снабжение за счёт местных возобновляемых источников энергии, в качестве которых могут выступать малые и средние реки. Таким образом, МГЭС могут стать реальной альтернативой использованию дизельных установок в зонах децентрализованного энергоснабжения.

Малые ГЭС также могут работать в рамках централизованных и местных (изолированных) энергосистем, снабжать электроэнергией отдельных потребителей.

Потребности в электроэнергии и ресурсы для ее выработки распределены неравномерно, и их оценка является трудоёмкой в связи с необходимостью анализа больших объемов данных. Традиционно такие оценки проводились отечественными проектными институтами при разработке схем использования рек с привлечением большого числа исследователей, изыскателей, проектировщиков и с продолжительностью исследований более 5 лет. Число рассматриваемых в схемах использования рек вариантов створов и параметров станций было невелико и часто диктовалось наличием детальных данных по изысканиям прошлых лет.

В последнее время наблюдаются тенденции к сокращению численности проектных и исследовательских кадров, сокращению сроков, отводимых для выполнения исследовательских работ. В то же время перед профильными институтами в последние годы было поставлено несколько масштабных задач по исследованию гидроэнергетического потенциала рек

и выявлению перспективных створов ГЭС. Эти тренды приводят к необходимости автоматизации оценок потребностей и ресурсов для сокращения сроков, трудоёмкости и стоимости исследований.

Таким образом, актуальной является задача по созданию методической и программной базы, служащей для поддержки принятия предпроектных решений в вопросах размещения и обоснования параметров перспективных малых ГЭС.

**Степень разработанности исследований.** Способам оценки гидроэнергетических ресурсов и описанию факторов, влияющих на выбор створов и параметров ГЭС, посвящено значительное число работ, представленных в Главе I диссертационного исследования. Однако вопросы комплексного и автоматизированного учёта этих факторов для целей обоснования выбора створов и параметров ГЭС в отечественных и зарубежных публикациях разработаны недостаточно.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности 05.23.07 – Гидротехническое строительство согласно пп.1, 2, 5, 9.

**Цель работы.** Целью работы является разработка методической и программной базы, позволяющей с учетом технических, экономических, экологических и социальных факторов обосновывать выбор створов и основных параметров перспективных малых гидроэлектростанций на стадиях предпроектных проработок (стадии разработки схем территориального планирования, схем использования рек, подготовки данных для Технического задания на стадию “Обоснование инвестиций в строительство”).

Для достижения поставленной цели решались **следующие задачи:**

1. Анализ отечественных и зарубежных публикаций по теме диссертационного исследования;

2. Выбор программных средств для автоматизации оценки факторов, учёт которых достаточен для обоснования выбора створов на предпроектных стадиях;

3. Оценка применимости методов многокритериального анализа для ранжирования выявленных перспективных МГЭС по технико-экономическим показателям с целью определения первоочередных (наиболее предпочтительных) из них;

4. Разработка методики комплексного обоснования выбора створов и параметров малых гидроэлектростанций;

5. Создание на основе геоинформационных систем программного комплекса, базирующегося на разработанной методике;

6. Апробация разработанной методики и программного комплекса.

**Методы исследования.** К методам исследования можно отнести:

Аналитический обзор литературных источников;

Пространственный анализ с использованием геоинформационных технологий (учитывающий пространственно-распределённые факторы);

Многокритериальный анализ;

Функциональное и объектно-ориентированное программирование.

**Достоверность результатов.** Достоверность результатов обеспечивается применением при расчетах актуальных исходных данных и сертифицированной профессиональной геоинформационной системы ArcGIS 10.1 для их обработки. При вычислении технико-экономических показателей перспективных гидроэлектростанций используются известные, проверенные практикой формулы и зависимости. В работе приводится верификация автоматизированно вычисляемых значений расходов водотоков и водосборных площадей в створах с данными водомерных постов. Верификация подтверждает достоверность вычислений. Также рассматривается сопоставление автоматизированно выявленных в рамках водохозяйственного участка створов, перспективных для строительства малых ГЭС с данными архивных проработок, выполненных АО «Институт Гидропроект». При сопоставлении большая часть створов, определённых автоматизированно с использованием изложенной в работе методики была намечена на тех же участках рек, что и в архивных проработках. Кроме того, был выявлен ряд перспективных створов на других участках рек.

**Научная новизна.** Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана методика по предпроектному обоснованию выбора створов и параметров МГЭС;

2. На основе геоинформационных систем (ГИС) разработан программный комплекс, в основу которого заложена разработанная методика;

3. Проведена оценка применимости методов многокритериального анализа к задаче автоматизированного определения первоочередных МГЭС при большом количестве сравниваемых альтернатив.

**Теоретическая и практическая значимость работы.**

Теоретическая значимость работы заключается в разработке методики, позволяющей выявлять створы, перспективные для строительства МГЭС и укрупнённо определять их параметры с учётом технических, экологических, экономических и социальных факторов, а также определять первоочередные МГЭС на основе многокритериального анализа. Автором разработаны подходы для выполнения автоматизированных экспресс-оценок по определению энергетических параметров станции, выбора схемы создания напора, типа турбин, класса сооружения, оценки стоимостных показателей и показателей экономической эффективности.

Практическая значимость работы заключается в создании программного комплекса на основе ГИС, который может быть использован для:

Предпроектного обоснования выбора створов, перспективных для строительства МГЭС в масштабах крупных территориально-административных или водохозяйственных единиц. Особенно актуальным представляется использование разработанного программного комплекса для

выявления створов перспективных МГЭС с целью обеспечения электроэнергией потребителей в районах децентрализованного энергоснабжения;

Разработке схем использования рек;

Определения первоочередных МГЭС (например, в рамках разработки схем территориального планирования).

Элементы разработанной методики использовались при выполнении научно-исследовательской работы «Разработка и научное обоснование схемы использования гидроэнергетического потенциала малых и средних рек, а также гидротехнических сооружений неэнергетического назначения, программы развития малой гидроэнергетики Северо-Кавказского, Северо-Западного, Приволжского и Сибирского федеральных округов (на основе инновационных технологий исследований, изысканий, обработки, представления и использования информации)».

**Личный вклад автора** заключается в:

1. Формулировании математической постановки задачи по обоснованию выбора створа и параметров МГЭС, цели и задач работы;
2. Анализе на основе публикаций подходов к решению задачи по обоснованию выбора створов и параметров гидроэлектростанций на предпроектных стадиях;
3. Проведении оценки применимости методов многокритериального анализа к решению поставленных в работе задач;
4. Разработке алгоритма по обоснованию выбора створов и параметров МГЭС, подходов к учёту на основе ГИС факторов, влияющих на выбор створов и параметров МГЭС;
5. Написании исходного кода программного комплекса на базе ГИС;
6. Апробации программного комплекса, решении ряда производственных задач на базе разработанного программного комплекса.

Разработанная методика по обоснованию выбора створов МГЭС и их параметров использует ряд результатов, полученных другими авторами:

Актуализированная карта модуля стока (методика Бакановичус Н.С., Лялиной А.А.)

Зоны распространения неблагоприятных инженерно-геологических процессов, осложняющих строительство малых ГЭС (методика Воронкова О.К.)

ГИС-инструмент по автоматизированной оценке гидроэнергетического потенциала водотоков (авторы Новиков Ф.В., Баденко Н.В., Иванов Т.С., Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614632, 29 апреля 2014 г.).

Также автор выражает благодарность специалисту института АО «Ленгидропроект» Львовскому В.А. за ценные советы.

**Апробация работы.** Основные разделы работы докладывались на следующих конференциях: 1) «Молодежная научно-практическая конфе-

ренция «Наука и проектирование», 29.05.2014 (Москва, «Институт Гидропроект»), 2) Восьмая научно-техническая конференция «Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии», 25.10.2014 (Санкт-Петербург, «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»), 3) Вторая международная конференция «Комплексный многоуровневый мониторинг и спутниковая навигация», 10.06.2015 (Севастополь, «РосКон»), 4) Девятая научно-техническая конференция «Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии», 23.10.2015 (Санкт-Петербург, «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»), 5) Международная научно-практическая конференция «Environment. Technology. Resources». (Латвия, Рига, 20.06.2015).

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Методика по предпроектному обоснованию выбора створов и параметров МГЭС;
2. Программный комплекс, разработанный на основе методики;
3. Апробация разработанной методики и программного комплекса на примере водохозяйственного участка в Пермском крае.

**Публикации.** По тематике работы было опубликовано 8 статей в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений и списка литературы, содержащего 129 наименований. Общий объем работы – 174 страницы, основного текста – 130 страниц. Диссертация содержит 56 рисунков и 18 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во Введении** раскрывается актуальность темы диссертационной работы, ставятся цель и задачи исследования, отмечаются научная новизна и практическая значимость, формулируются положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена подходам к поиску створов для перспективных гидроэлектростанций и обоснованию их параметров.

Дается общая математическая постановка задачи по выбору створов и параметров МГЭС:

Имеется множество  $A = \{a_i\}_{i=1}^n$  исследуемых створов. В каждом створе рассматривается  $m$  вариантов МГЭС, отличающихся друг от друга энергетическими параметрами (напором, установленной мощностью, выработкой и др.) и образующих множество  $B = \{b_j\}_{j=1}^m$ .

Существует множество учитываемых при выборе створов и параметров МГЭС факторов технического, социального, экологического и экономического характера  $Q = \{q_k\}_{k=1}^p$ , которые накладывают ограничения на допустимые параметры рассматриваемых вариантов МГЭС. Требуется

оценить, в какой степени каждый вариант МГЭС удовлетворяет этим ограничениям (провести оценку элементов множества  $B$  по элементам множества  $Q$ ) и исключить варианты, не удовлетворяющие ограничениям.

Варианты МГЭС, удовлетворяющие всем ограничениям, образуют множество  $C = \{c_z\}_{z=1}^t$ . Элементы множества требуется ранжировать по степени их превосходства в соответствии с принятой моделью многокритериальной оценки. Для этого формируется множество факторов предпочтения  $S = \{s_l\}_{l=1}^y$ , часть которых подлежит минимизации, а часть - максимизации. Для каждого вектора оценок  $\bar{x}_z = (x_{1z}, x_{2z}, \dots, x_{yz})$  элементов множества  $C$  по элементам множества  $S$  в соответствии с моделью многокритериальной оценки вычисляется функция полезности  $U_z(x_z)$ . Наилучшей объявляется та альтернатива, для которой функция полезности имеет максимальное значение. В случае различной степени влияния факторов предпочтения для них вводятся соответствующие весовые коэффициенты. Из ранжированных элементов множества выбираются наиболее эффективные варианты МГЭС, образующие множество  $D = \{d_r\}_{r=1}^a, a \leq t$ .

Таким образом, элементы множества  $C$  в терминах настоящей работы являются *перспективными МГЭС*, а элементы множества  $D$  – *первоочередными МГЭС*.

В диссертации рассматриваются традиционные подходы к выбору створов и параметров ГЭС, а также к исследованиям гидроэнергетического потенциала, изложенные в работах Александрова Б.К., Асарина А.Е., Бляшко Я.И., Васильева Ю.С., Владимирова А.М., Вознесенского А.Н., Волшаника В.В., Воробьёва В.Н., Григорьева С.В., Елистратова В.В., Золотарёва Т.Л., Карелина В.Я., Львовского В.А., Маркановой Т.К., Михайлова Л.П., Новоженина В.Д., Панкратьева П.С., Сидоренко Г.И., Февралева А.В., Федорова М.П., Фельдмана Б.Н., Хрисанова Н.И., Шакирова В.А., Щавелева Д.С.

Традиционные подходы к выбору створов и параметров перспективных ГЭС основаны на обработке топографических карт, гидрологических, геологических, статистических данных и прочей информации вручную. К подобным методам следует отнести построение кадастровых характеристик рек, расчёт гидроэнергетического потенциала, водно-энергетические расчёты и др. методы. При использовании традиционного подхода проектировщиками намечается ограниченное количество створов и для них рассматриваются несколько вариантов напоров станции. При этом выбор их местоположения зачастую продиктован наличием данных изысканий, выполненных ранее.

Достоинством традиционных подходов является высокая детальность и достоверность получаемых в ходе исследований результатов. Не-

достатки традиционных подходов связаны с трудоёмкостью, субъективностью исследователей, неточностями при выборе створов, обусловленными ограниченным количеством рассматриваемых вариантов.

Использование автоматизированного на основе ГИС подхода к обоснованию выбора створов и параметров для малых ГЭС позволяет частично устранить недостатки, присущие традиционным подходам. Однако предлагаемый метод, основанный на использовании ГИС, также имеет ряд недостатков. Результаты, получаемые на его основе, базируются на экспресс-оценках и обобщённых фондовых данных (карта модуля стока, укрупнённые стоимостные показатели и др.), поэтому уступают в детальности и точности результатам, получаемым на основе традиционных подходов. Однако автоматизированный подход даёт возможность решать задачи со значительным территориальным охватом в сжатые сроки и с малыми трудовыми затратами, что актуально в современных условиях. Одной из таких задач может являться поиск перспективных створов МГЭС в зонах децентрализованного энергоснабжения.

В качестве программной базы для решения поставленных в работе задач используются ГИС. В диссертации приводится анализ применимости ГИС для решения поставленных задач. Показывается, что архитектура ГИС изначально ориентирована на работу как с пространственной, так и с атрибутивной составляющей анализируемых объектов, что необходимо для решения поставленных в работе задач, требующих учёта множества пространственно-распределённых факторов.

Приводится анализ публикаций, посвященных вопросам поиска перспективных створов для строительства ГЭС на основе геоинформационных технологий. Вопросы использования геоинформационных технологий для обоснования выбора створов ГЭС, а также исследования гидроэнергетического потенциала территорий рассматриваются в публикациях авторов Арефьева Н.В., Киселевой С.В., Нефедовой В.Л., Орлова А.В., Пупасова-Максимова А.М., Рафиковой Ю.Ю., Федосеева А.В., Félix J, Fitzgerald N., Hall D.G., Kao S.-C., Lytskjold B., Wilson E.M., Gergel'ová M., Feizizadeh B., Balance A., Larentis D.G и др. В диссертационной работе отмечается необходимость развития подходов, изложенных в упомянутых выше публикациях и их адаптации для отечественных условий с учётом российской нормативной документации. Отличие настоящей работы от предшествующих исследований заключается в использовании комплексного подхода, подразумевающего последовательную оценку гидроэнергетических ресурсов, учёт требуемых отечественной нормативной документацией технических, социальных, экологических и экономических ограничений, оценку потребности в электроэнергии и, наконец, определение первоочередных МГЭС.

В завершении главы 1 приводится оценка применимости основных методов многокритериального анализа для ранжирования перспективных МГЭС по технико-экономическим параметрам и определения первооче-

редных из них. Для применения в рамках диссертационной работы выбран метод анализа иерархий.

Во **второй главе** рассматриваются факторы и критерии, оказывающие влияние на выбор створов и параметров малых ГЭС. Под факторами подразумевается совокупность условий, влияющих на выбор створа, а под критериями – правила принятия решения по оценке на соответствие этим условиям.

Все факторы, влияющие на выбор створов и параметров МГЭС, подразделяются на 4 группы: технические, экономические, экологические и социальные (основные влияющие факторы, систематизированные автором на основе нормативной документации и публикаций, отражает рис. 1). Зачастую принадлежность тех или иных факторов к конкретной группе носит условный характер.

Полужирным шрифтом на рис. 1 выделены факторы, которые учитываются в настоящей работе. Выбор данных факторов основан на требованиях нормативной документации (см. Приложения А и Б СТО 70238424.27.140.027-2009 «Гидроэлектростанции. Правила разработки схем территориального планирования и проектной документации»).

В главе 2 приводится краткое описание каждого фактора, представленного на рис. 1.

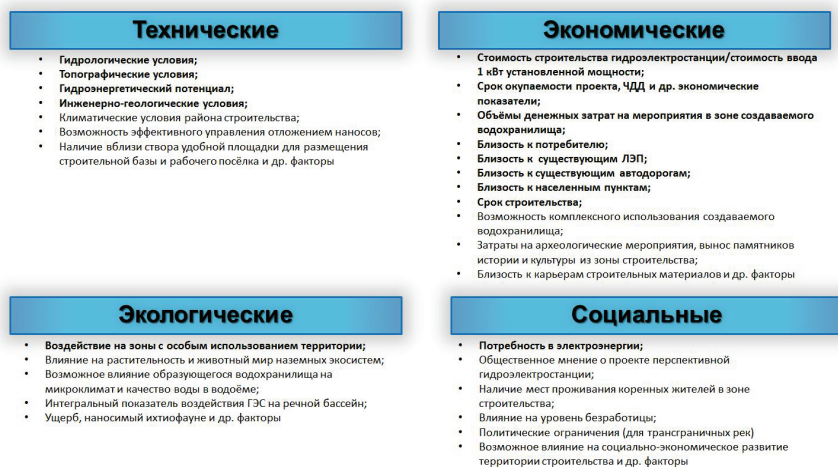


Рис. 1. Классификация факторов, оказывающих влияние на выбор створов и на параметры МГЭС

Предлагаемая концепция решения задачи по выявлению перспективных створов МГЭС заключается в следующем. Первоначально исследуются водотоки, вычисляется их гидроэнергетический потенциал и ряд других характеристик, таких как уклоны, падения на участках рек, водосборные площади и среднесуточные расходы в конечных и начальных

точках участков. Участки водотоков по длине разбиваются на створы, в каждом створе рассматривается ряд вариантов МГЭС, отличающихся энергетическими характеристиками. Из исходного множества вариантов МГЭС требуется исключить те, которые являются заведомо неэффективными. Такая необходимость вызвана тем, что в рамках используемого в работе автоматизированного подхода число рассматриваемых вариантов МГЭС может быть значительным и при исследованиях крупных по площади территорий (например, водохозяйственных участков) измеряется многими тысячами. Для оставшихся после выбраковки вариантов выполняется интегральная оценка по факторам предпочтения и определяются первоочередные МГЭС.

В соответствии с описанным выше подходом, в работе предлагается при переходе от факторов к критериям, разделить все критерии на отсекающие и оценочные.

Под отсекающими критериями понимаются критерии, для которых назначено пороговое значение. Если показатель МГЭС не удовлетворяет пороговому значению, то такой вариант МГЭС исключается. Варианты МГЭС, прошедшие все стадии выбраковки по отсекающим критериям, считаются перспективными.

Под оценочными критериями понимаются критерии, на основе которых проводится многокритериальная оценка перспективных МГЭС и осуществляется определение первоочередных МГЭС.

Рис. 2 отражает принятые в работе отсекающие и оценочные критерии.

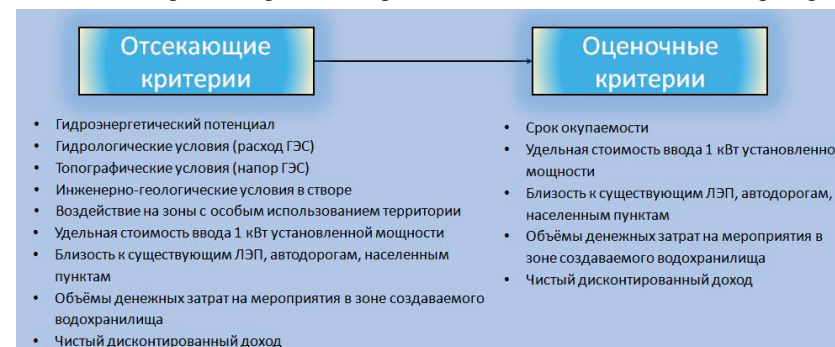


Рис. 2. Отсекающие и оценочные критерии, принятые в работе

Таким образом, в главе 2 составлен перечень учитываемых в работе факторов и критериев, а также предложена концепция решения задачи по обоснованию выбора створов и параметров малых ГЭС.

**Третья глава** посвящена разработке методической и программной базы для комплексного обоснования выбора створов и параметров МГЭС.

Приводится разработанный автором алгоритм для комплексного обоснования выбора створов и параметров МГЭС (см. рис. 3 и 4).

## Алгоритм обоснования выбора створа и основных параметров МГЭС

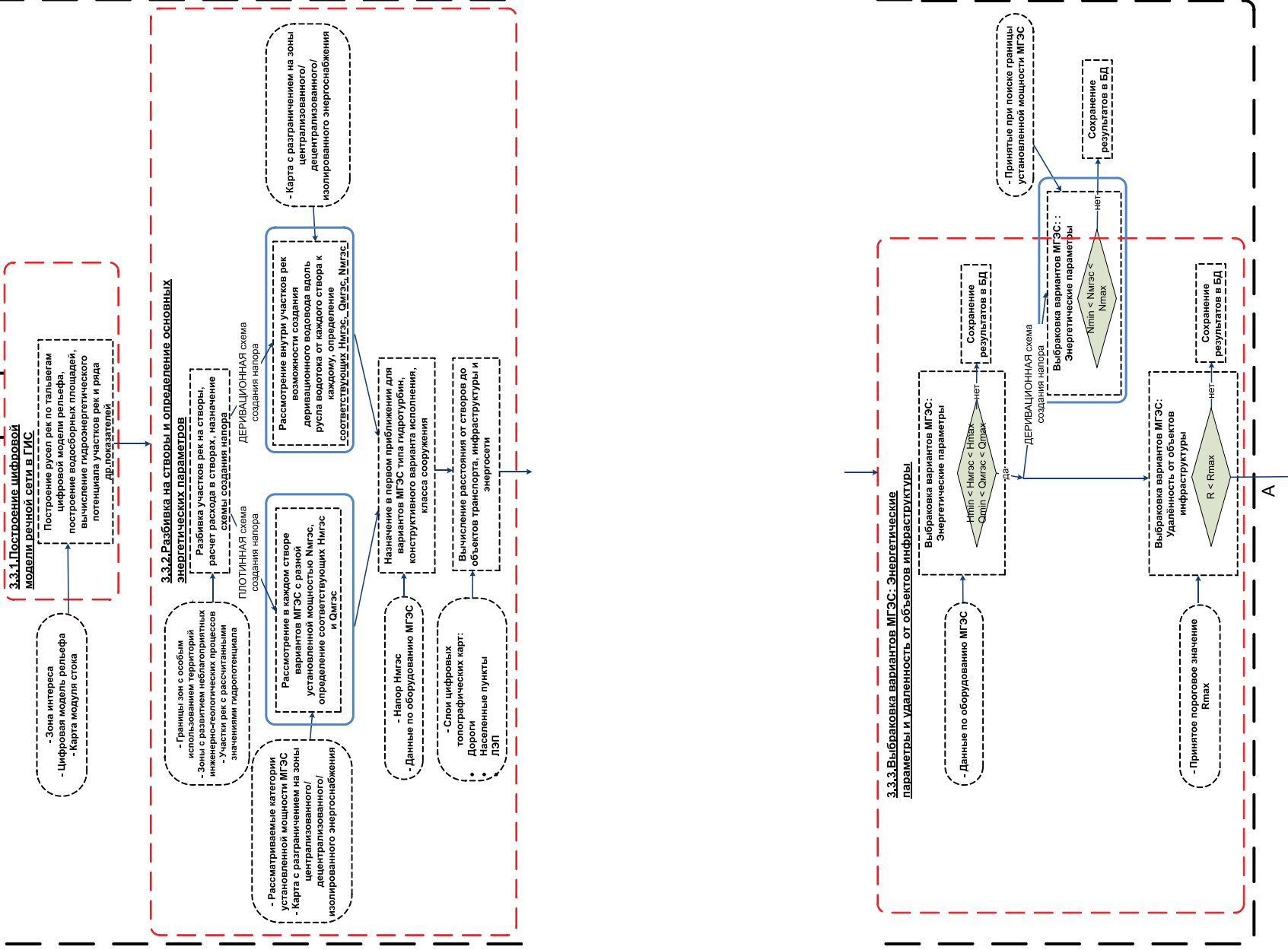


Рис. 3. Алгоритм поиска перспективных створов для строительства малых ГЭС (часть 1)

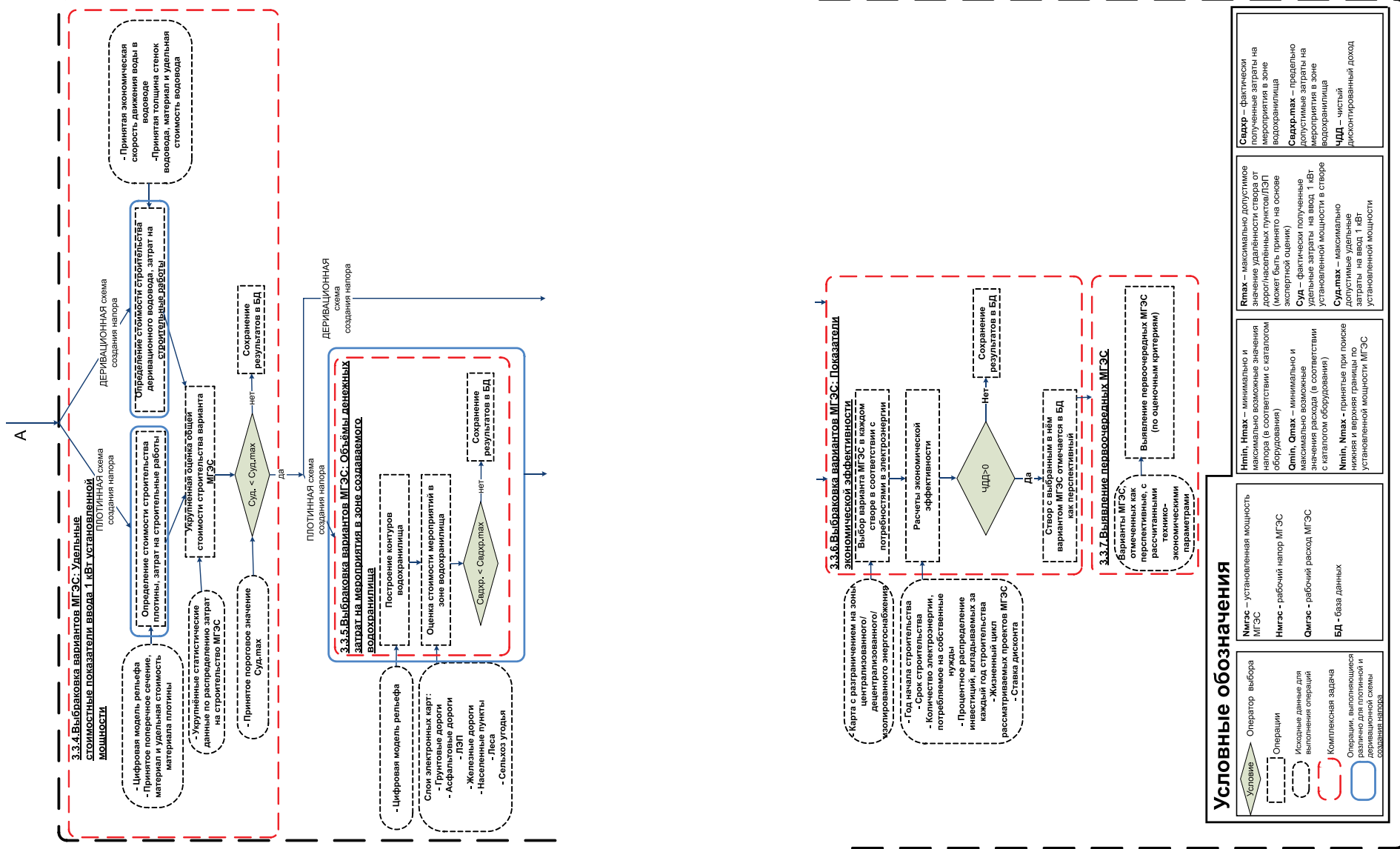


Рис. 4. Алгоритм поиска перспективных створов для строительства малых ГЭС (часть 2)



Первым шагом предлагается производить выбраковку вариантов МГЭС, не удовлетворяющих принятым пороговым значениям по отсекающим критериям (соответствующие операции на рисунках отмечены подписью “Выбраковка вариантов МГЭС:”). Пороговые значения задаются на основе экспертной оценки, практики проектирования, проектов-аналогов, расчётов, укрупнённых показателей. Выбраковка носит характер экспресс-оценки, её предлагается выполнять в следующем порядке:

Осуществляется построение цифровой модели речной сети средствами ГИС. Для каждого участка реки вычисляются такие характеристики как уклон, площадь водосбора, гидроэнергетический потенциал и др.;

Намечается множество исследуемых створов на протяжении всей длины анализируемых водотоков. При этом створы не назначаются в границах зон с особым использованием территории, зон с распространением опасных инженерно-геологических процессов, а также на участках рек, не подходящих по вычисленному значению гидроэнергетического потенциала. Определяется схема создания напора (для створов на равнинных участках рек рассматривается плотинная, а для створов на горных участках рек - деривационная схема). В каждом створе рассматривается ряд вариантов МГЭС с различным нормальным

подпорным уровнем для плотинной схемы, либо с различной трассой деривационного водовода, идущего вдоль русла исследуемого водотока, для деривационной схемы (см. рис. 5). Для каждого варианта МГЭС оцениваются расчётный расход, напор, установленная мощность. Предварительно назначаются тип турбины, конструктивный вариант исполнения станции, класс сооружения;



Рис. 5. Варианты нормального подпорного уровня (для плотинных МГЭС) и варианты деривационных водоводов (для деривационных МГЭС), рассматриваемые в каждом створе

Исключаются варианты МГЭС по энергетическим параметрам (исключаются те варианты, для которых расходы и напоры не соответствуют параметрам оборудования малых ГЭС);

Укрупнённо оценивается стоимость строительства каждого варианта МГЭС, варианты исключаются по удельным затратам на ввод 1 кВт установленной мощности;

Для плотинных МГЭС осуществляется построение контуров водохранилища и производится оценка стоимости мероприятий в зоне создаваемого водохранилища (работ по переустройству дорожных сетей, выносу из зоны затопления ЛЭП, железных дорог, затраты на переселение населения, лесосводку и лесочистку, восстановление сельхозпроизводства). Исключаются варианты МГЭС по затратам на мероприятия в зоне водохранилища.

Для оставшихся вариантов МГЭС вычисляются показатели экономической эффективности на основе расчётного комплекса «Energy Invest», применяемого для оценки инвестиционной привлекательности проектов энергетики в процессе их разработки (в частности, комплекс используется в ПАО «РусГидро»). Исключаются варианты МГЭС по экономическим показателям.

Таким образом, после применения отсекающих критериев остаётся множество створов, в каждом из которых определён один или несколько вариантов МГЭС с вычисленными энергетическими и технико-экономическими параметрами. Выбор подходящего варианта предлагается осуществлять на основе потребности в электроэнергии. В зонах с децентрализованным энергоснабжением МГЭС должна покрывать потребности в электроэнергии для потребителей в населённых пунктах.

В зонах с централизованным или изолированным энергоснабжением излишки вырабатываемой электроэнергии по сравнению с требуемой могут быть направлены в объединённую или местную энергосистему. Таким образом, предлагается допущение, что вырабатываемая электроэнергия всегда будет востребована. В этом случае в створе следует выбирать вариант МГЭС с максимально возможной мощностью, при условии удовлетворения всем отсекающим критериям.

Оставшееся после всех этапов выбраковки множество створов, в каждом из которых выбран один вариант МГЭС и определены основные энергетические и технико-экономические параметры, ранжируется в соответствии с оценочными критериями.

В главе 3 приводится описание каждого блока алгоритма. Приводится общее описание, входные и выходные формы для программного комплекса, в основу которого легла разработанная методика. Программный комплекс реализован на основе стыковки ГИС и языка программирования Python, имеет модульную структуру, где каждый модуль выполняет отдельно взятую операцию (например, модуль расчёта энергетических характеристик, модуль построения контуров водохранилища, модуль расчёта показателей экономической эффективности и т.д.).

Разработанный комплекс может быть использован в качестве аналитического модуля в составе информационно-аналитических систем, а

найденные створы и параметры по ним могут быть представлены в информационно-справочных системах. В упомянутой выше работе «Разработка и научное обоснование схемы использования гидроэнергетического потенциала...» была создана корпоративная информационно-справочная система для нужд ПАО «РусГидро» (КИСС ГИС). К функционалу системы относилось интерактивное предоставление сведений о гидроэнергетическом потенциале рек (более 12 тыс. рек в РФ), возможностях его использования (более 200 створов МГЭС) и существующих ограничениях, потребностях в электроэнергии и мощности, перспективных потребителях электроэнергии (более 2000), данных по климату.

**Четвёртая глава** посвящена апробации и верификации разработанной методики и программного комплекса.

Практическое применение разработанной методики и программного комплекса представлено на примере поиска перспективных створов МГЭС внутри водохозяйственного участка, расположенного в Пермском крае Приволжского Федерального округа.

Приводится описание исследуемого района, исходные данные для применения методики, описываются входные параметры для расчётов и описание каждого шага расчётов.

Процесс поиска перспективных створов МГЭС для рассмотренного в диссертации водохозяйственного участка отражает рис. 6.

В завершении главы 4 представлена верификация методики, которая состояла из двух этапов:

1. Проверка результатов вычисления основных гидрологических характеристик в створах. Вычисленные значения водосборных площадей и расходов в створах верифицировались на основе архивных данных и данных по водомерным постам. На основе выполненного сравнения был сделан вывод о достаточной точности проводимых вычислений.

2. Сопоставление с архивными данными проводилось для водохозяйственного участка, расположенного в Дагестане. В рассматриваемом водохозяйственном участке, по данным архивных проработок АО «Институт Гидропроект», было намечено 18 перспективных створов. При сопоставлении 14 створов, определённых автоматизированно с использованием изложенной методики были намечены на тех же участках рек, что и в архивных проработках. Кроме того, был выявлен ряд перспективных створов на других участках рек.

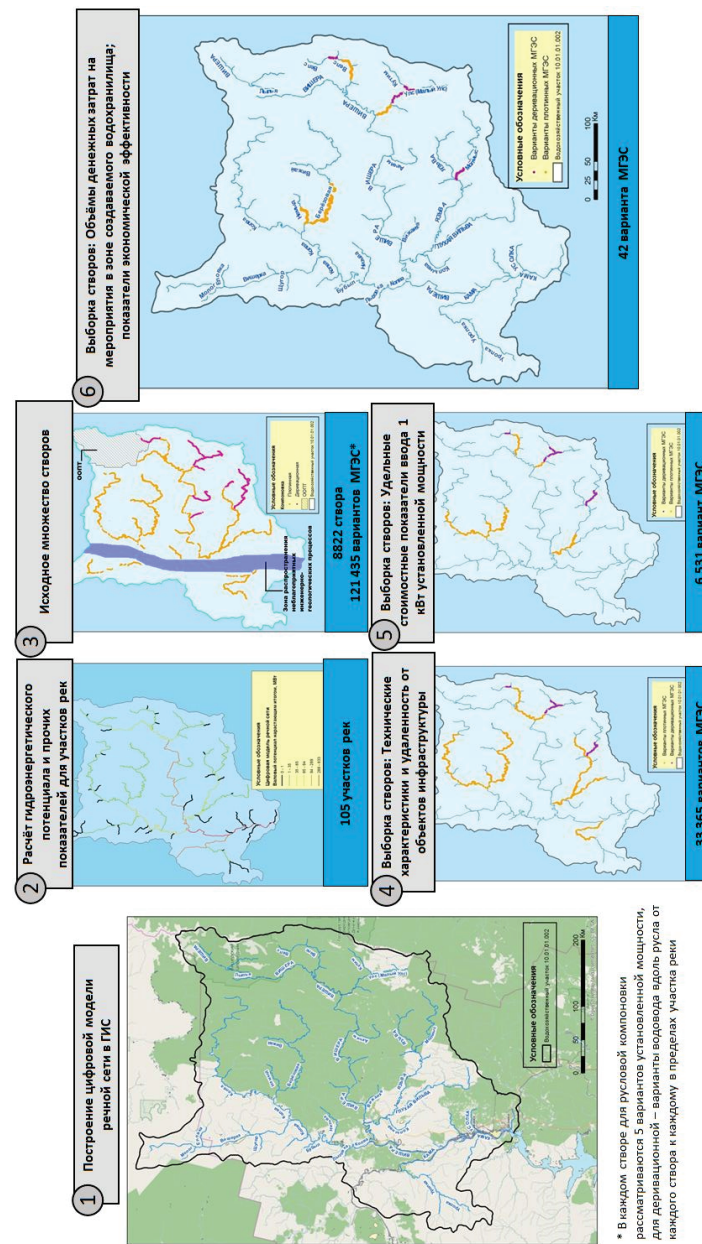


Рис. 6. Результаты апробации методики и программного комплекса на примере поиска створов перспективных МГЭС в пределах водохозяйственного участка

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Традиционные подходы к обоснованию выбора створов и параметров гидроэлектростанций и предлагаемый в работе автоматизированный подход с использованием геоинформационных систем обладают своими достоинствами и недостатками. Выбор того или иного подхода зависит от специфики поставленной задачи. Использование автоматизированного подхода эффективно на предпроектных стадиях при решении задач со значительным территориальным охватом. Подобные задачи могут быть решены в сжатые сроки и с малыми трудозатратами, что актуально в современных условиях. Одной из таких задач может являться поиск перспективных створов МГЭС в зонах децентрализованного энергоснабжения;

2. Выполнен анализ публикаций по тематике работы, на основе которого выявлены мировые тенденции в вопросе автоматизированного поиска створов перспективных МГЭС с использованием геоинформационных технологий. Сделан вывод о необходимости развить существующие подходы и гармонизировать их с отечественной нормативной документацией;

3. Выполнен анализ применимости геоинформационных систем, показавший достаточность их функционала для решения поставленных в работе задач;

4. Выполнена оценка применимости методов многокритериального анализа для ранжирования перспективных МГЭС и определения первоочередных из них. Для применения в рамках диссертационной работы выбран метод анализа иерархий;

5. Разработана методика для комплексного обоснования выбора створов и параметров МГЭС. Получаемые результаты носят предпроектный характер, соответствующий стадиям разработки предложений для схем территориального планирования, схем использования рек, подготовки данных для Технического задания на стадию «Обоснование инвестиций в строительство»;

6. Разработан программный комплекс, в котором реализована автоматизация предлагаемого подхода на базе языка программирования Python и геоинформационных технологий;

7. Показан пример практического применения разработанной методики и программного комплекса для водохозяйственного участка в Пермском крае, бассейн р. Кама.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*В российских рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК*

1. Олешко, В. А. Анализ мирового опыта автоматизированного расчета гидроэнергopotенциала рек и поиска перспективных створов гидроузлов / Н. В. Арефьев, Т. С. Иванов, Н. В. Баденко, О. Г. Никонова, В. А. Олешко // Гидротехническое строительство. – 2015. – №3. – с. 30-37.

2. Олешко, В. А. Результаты оценки гидроэнергетического потенциала территории России в разрезе по субъектам РФ / В. Л. Баденко, Н. В. Баденко, Т. С. Иванов, В. А. Олешко, М. В. Петрошенко // Известия ВНИИГ. – 2015. – Том 276. – с. 57-70

3. Олешко, В. А. Разработка методологического обеспечения процесса автоматизированного вычисления гидроэнергетического потенциала рек с использованием геоинформационных систем / Н. В. Баденко, Н. С. Бакановичус, О. К. Воронков, Т. С. Иванов, А. А. Ломоносов, В. А. Олешко, М. В. Петрошенко // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №6(41). – с. 62–76.

4. Олешко, В. А. Геоинформационные методы поиска перспективных створов для строительства ГЭС / Т. С. Иванов, Н. В. Баденко, В. А. Олешко // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №4(39). – с. 70–82.

5. Олешко, В. А. Разработка методического и программного обеспечения выбора створов для строительства гидроэлектростанций на малых и средних реках / Т. С. Иванов, В. А. Олешко // Известия ВНИИГ. – 2016. – Т. 280. – с. 87–100.

*В зарубежных изданиях и материалах конференций*

6. Oleshko, V. A. Development of methodology for partially automated hydropower potential calculations using GIS-technologies. / N. S. Bakanovichus, N. V. Badenko, A. A. Lomonosov, V. A. Oleshko, O. K. Voronkov // The 3rd International Symposium on Rockfill Dams. – Kunming, China: 2013. – pp. 129-134.

7. Oleshko, V. A. Hydropower Potential Estimations and Small Hydropower Plants Siting: Analysis of World Experience / N. V. Arefiev, N. V. Badenko, T. S. Ivanov, S. P. Kotlyar, O. G. Nikonova, V. A. Oleshko // Applied Mechanics and Materials/ - 2015. - Vols. 725-726. - pp. 285-292.

8. Oleshko, V. A. Development of Automated Approaches for Hydropower Potential Estimations and Prospective Hydropower Plants Siting / N. V. Arefiev, N. V. Badenko, T. S. Ivanov, O. G. Nikonova, V. A. Oleshko // Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference «Environment. Technology. Resources». – Riga: 2015. – Volume 2. – pp. 41-50.

Типография ООО «ПК Марка»  
195220, Санкт-Петербург, Гжатская ул., 21.  
Объем 1,0 п.л. Тираж 100. Заказ 16.