

О. В. Воеводин, В. В. Слабунов, А. А. Кириленко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ВОПРОСЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В МЕЛИОРАТИВНОМ КОМПЛЕКСЕ: ИЕРАРХИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Цель: построение иерархической классификации микрогидроэлектростанций, элементы которой рассматриваются как эвентуальная составляющая гидромелиоративной системы для преобразования энергии водного потока и решения вопросов энергоэффективности и энергосбережения в мелиоративном комплексе. **Материалы и методы.** В качестве исходных материалов использовались работы российских и зарубежных исследователей в области применения, а также конструирования гидроэлектростанций. В качестве методов обработки информации и построения классификации использовались: анализ, синтез, логика и классифицирование. **Результаты и обсуждение.** Вопросы энергоэффективности и энергосбережения в мелиоративном комплексе требуют использования новых конструктивных, технологических подходов, а применение углубленной конвергенции между знаниями в энергетической отрасли и мелиорации позволит решать их часть. В результате поиска, обработки и анализа информационных источников в области использования и конструирования гидроэлектростанций установлено отсутствие общей иерархической классификации микрогидроэлектростанций, что вызывает определенные сложности в интегрировании отдельно взятой микрогидроэлектростанции в гидромелиоративную систему как ее элемента. Проведенные исследования, связанные с разработкой иерархической классификации микрогидроэлектростанций, позволили выделить необходимые объекты по трем классификационным признакам: наличие (отсутствие) напора, принцип подвода водного ресурса к гидроагрегату, конструкция турбины. **Выводы.** Разработанная четырехуровневая иерархическая классификация в первом приближении может быть принята как основа для систематизации информации по микроГЭС и в дальнейшем использована при проектировании гидромелиоративных систем с учетом элементов энергоэффективности и энергосбережения, а также может служить объектом дальнейшего обсуждения.

Ключевые слова: классификация; микрогидроэлектростанция; гидромелиоративная система; кинетическая энергия; потенциальная энергия; мелиоративный комплекс.

O. V. Voyevodin, V. V. Slabunov, A. A. Kirilenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ISSUES OF ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY CONSERVATION IN THE RECLAMATION COMPLEX: HIERARCHICAL CLASSIFICATION OF MICRO HYDROPOWER PLANTS

Purpose: to build a hierarchical classification of microhydroelectric power plants, the elements of which are considered as an eventual component of the hydroreclamation system for converting the energy of water flow and solving energy efficiency and energy conserva-



tion issues in the reclamation complex. **Materials and methods.** The source materials used were the works of Russian and foreign researchers in the field of hydroelectric power plants use, as well as its design. Such methods as analysis, synthesis, logic, and classification were used as information processing and classification methods. **Results and discussion.** The issues of energy efficiency and energy conservation in the reclamation complex require the use of new constructive, technological approaches, and the use of profound convergence between knowledge in the energy industry and land reclamation will allow solving some of them. As a result of the search, processing and analysis of information sources in the field of the use and design of hydroelectric power plants, the absence of a general hierarchical classification of microhydroelectric power plants was stated, that causes certain difficulties in integrating a single microhydroelectric power station into the hydroreclamation system as its element. The conducted research related to the development of a hierarchical classification of microhydroelectric power plants made it possible to identify the necessary objects according to three classification criteria: the presence (absence) of head, the principle of supplying a water resource to a hydraulic unit, and the turbine design. **Conclusions.** The developed four-level hierarchical classification can be adopted at a first approximation, as a basis for systematizing information on microhydroelectric power stations and can be further used in the design of reclamation systems taking into account energy efficiency and energy conservation elements and can also be the object of further discussion.

Key words: classification; microhydroelectric power plant; irrigation and drainage system; kinetic energy; potential energy; reclamation complex.

Введение. Несмотря на относительную консервативность в совершенствовании мелиоративных систем [1], на фоне развития современного мира появляются новые вызовы, принять которые невозможно без рассмотрения новых подходов и принципов конструктивного и технологического плана. При расширении конвергентной основы в процессе формирования элементного состава гидромелиоративных систем, в т. ч. при сближении знаний в областях энергетики и мелиорации, становится возможным приблизиться к решению вопросов энергоэффективности и энергосбережения в мелиоративном комплексе.

Ежегодные объемы транспортируемой по гидромелиоративным системам Российской Федерации воды делают возможным дополнительное использование энергии водного потока [2, 3], которая может при переводе ее в электрическую открывать перспективы формирования центров развития новых технологий в удаленном отрыве от мест, обеспеченных данным ресурсом. Территории, обеспеченные дополнительными ресурсами, позволят сельхозпроизводителю расширить свой технологический потенциал и в итоге иметь более конкурентную на рынке продукцию.

Исследования ряда авторов в области применения гидроэлектростанций (ГЭС) на гидромелиоративных системах [4, 5] позволяют говорить о перспективности данных направлений работ и их экономической эффективности [6], которые требуют в том числе продвижений в фиксировании определенных результатов с последующей систематизацией на основе классификации. В связи с этим считаем цель исследований – построение иерархической классификации микрогидроэлектростанций (микроГЭС), элементы которой рассматриваются как эвентуальная составляющая гидромелиоративной системы для преобразования энергии водного потока и решения вопросов энергоэффективности, энергосбережения в мелиоративном комплексе, – актуальной в разработке.

Материалы и методы. В качестве исходных материалов использовались работы российских и зарубежных исследователей в области применения, конструирования ГЭС. В качестве методов обработки информации и построения классификации использовались: анализ, синтез, логика и классифицирование. Построение классификации производилось с применением иерархического метода классифицирования в аспекте мелиоративной деятельности.

Результаты и обсуждение. Любой водный поток обладает потенциальной и кинетической энергией, т. е. гидроэнергией, которая в естественных природных условиях сосредоточена в потоках водных масс в русловых водотоках и приливных движениях. Мелиоративный комплекс является крупным природопользователем водного ресурса страны, так, только в Ростовской области на цели орошения используется около 2 км³ воды. Доставка воды потребителям осуществляется посредством гидромелиоративных (оросительных) систем, которые в элементном плане с учетом сложных рельефных условий местности состоят из таких гидротехнических сооружений, как открытые (закрытые) каналы, быстротоки и перепады, акведуки, тоннели, пруды (суточного) регулирования, бассейны-накопители и другие

сооружения. Ввиду специфики проектирования гидротехнические сооружения гидромелиоративных систем при транспортировке воды или ее временном накоплении становятся своего рода системами (сооружение + вода), где вода, находясь в движении или в аккумулярованном состоянии, имеет командование (превышение отметок) над частью близлежащей территории, в связи с чем начинает обладать значительной кинетической энергией.

Использование потенциальной и кинетической энергий напрямую является затруднительным, и поэтому человечество применяет преобразование ее в удобно применимые виды – в механическую и электрическую. Примерами преобразования энергии водного потока в механическую могут служить водяные мельницы, в которых дальнейшее преобразование механической энергии в электрическую производится посредством дополнения компонентов механической системы электрогенератором. Непосредственно в мелиорации имеют место преобразования энергии водного потока в механическую энергию на дождевальными машинами, в состав элементов которых входят гидравлические приводы системы перемещения (например, дождевальная машина «Фрегат»).

На фоне современного развития, которое предлагает многообразие используемых средств производства, двухступенчатая схема (ступени считаем по энергиям) преобразования энергии водного потока в механическую энергию применима, но становится все менее используемой и сдает позиции в конкуренции, как ни парадоксально это звучит, четырехступенчатой схеме (энергия водного потока – механическая энергия – электрическая энергия – механическая энергия или другая, полученная посредством электрооборудования). На каждой ступени преобразования энергии мы теряем ее часть, однако взамен получаем ту самую многофункциональность на все случаи.

Гидромелиоративные системы в своей основе имеют большую протяженность и обслуживают значительные площади земель сельскохозяйствен-

ного назначения, что зачастую не способствует использованию централизованной системы электроснабжения, в связи с этим возникает необходимость применения альтернативных автономных источников электроэнергии в тех точках, где это необходимо. Нельзя обойти вниманием вопрос: где же эти точки, которые требуют использования электроэнергии? На наш взгляд, основными объектами использования электроэнергии могут являться дождевальные машины, которые получают новые дополнительные возможности в процессе орошения, также потребителями могут быть сооружения водораспределения, вспомогательные здания в виде мастерских и помещения временного проживания (пребывания) обслуживающего персонала.

На основании вышесказанного считаем, что в качестве автономных источников электроэнергии на гидромелиоративных системах необходимо рассматривать применение ГЭС. Началом полномасштабной возможности применения ГЭС на гидромелиоративных системах можно считать тот момент, когда процесс проектирования, который предусматривает документированную интеграцию ГЭС с одним из видов гидротехнических сооружений, будет обеспечен достаточным количеством информации. Информация при ее достаточном количестве требует систематизации для удобства ее использования, а систематизация может решаться только на основе классификаций.

Проведенные предварительные исследования показали отсутствие общей классификации ГЭС, а имеющиеся место в литературе классификации составлены в основном по одному классификационному признаку, в связи с чем далее они будут рассмотрены и сведены в фасетную классификацию, которая впоследствии будет преобразована в иерархическую классификацию по приоритетным признакам, имеющим весомую значимость для достижения поставленной цели. Принципы построения фасетной и иерархической классификаций являются двумя основными методами классифицирования [7].

Так, ряд авторов [8, 9] разделяет все виды ГЭС в зависимости от количества вырабатываемой энергии (отношение работы к интервалу времени ее совершения):

- на мощные, с величиной вырабатываемой энергии более 25 МВт;
- средние, энергетический потенциал которых сосредоточен в границах 5–25 МВт;
- малые, вырабатывающие менее 5 МВт.

Принимая во внимание поставленные задачи, а также тот факт, что основной функцией гидромелиоративной системы является транспортировка воды, а не выработка электроэнергии, целесообразно ограничить объем наших исследований и приоритет отдать малым ГЭС.

В свою очередь, ГЭС малой мощности принято классифицировать на пикоГЭС, мощностью до 5 кВт (по некоторым источникам [10, 11], до 10 кВт), микроГЭС – от 5 до 100 кВт, мини-ГЭС – от 100 кВт до 1 МВт [10, 12, 13]. МикроГЭС на сегодняшний день является одним из наиболее перспективных видов источников энергии, строительству которых отдается все больший приоритет в малой энергетике [14], а вырабатываемая ею мощность, по предварительным расчетам, может обеспечить работу до трех-пяти дождевальными машинами с сезонной нагрузкой около 100 га/шт.

По способу подвода воды к гидроагрегату микроГЭС выделяют деривационный, русловой (с применением мини-плотины) и свободнопоточный [12, 15, 16]. В свою очередь, исследователи [17], проводя работу по классификации мини-ГЭС, приводят классификацию по принципу использования природных ресурсов, где подразделяют ГЭС на русловые и плотинные, приплотинные, деривационные, гидроаккумулирующие и сифонные.

В зависимости от напора воды деривационные ГЭС можно разделить на безнапорные, низконапорные (с высотой напора 3–25 м), средненапорные (25–60 м) и высоконапорные (60–80 м) [12].

Для обеспечения работы при различных напорах предусмотрены раз-

личные виды турбин, отличающиеся друг от друга техническими параметрами: для высоконапорных – ковшовые и радиально-осевые с металлическими спиральными камерами; для средненапорных – поворотные-лопастные и радиально-осевые; для низконапорных – поворотные-лопастные в железобетонных или стальных камерах [18, 19].

МикроГЭС со свободнопоточными гидротурбинами в зависимости от принципа работы и конструкции классифицируют на погружные [20] (гидроагрегаты размещены под водой) и наплавные (гидроагрегаты расположены на плавучих средствах) [21]. В свою очередь, типы свободнопоточной ГЭС представлены водяным колесом, ротором Дарье, пропеллерной станцией и гирляндной ГЭС [22–24].

В монографии В. Г. Краснова [25] приводится достаточно широкая подборка фасетных классификаций микроГЭС, которые отчасти повторяют ранее рассмотренные в данной статье, с некоторым отличием в количественных характеристиках, а также имеются редко используемые в литературе, такие как по номинальному напряжению, скорости течения воды, расходу воды, частоте вращения турбины, принципу работы.

Проводя анализ исходной информации о фасетных классификациях микроГЭС, можно сказать, что в практике приводимые по определенному признаку классификации имеют различные значения фасетов, как количественных, так и качественных характеристик. Однако представленное многообразие фасетных классификаций позволяет многогранно рассматривать вопросы малой энергетики. На основании рассматриваемого материала сформируем обобщенную фасетную классификацию (таблица 1).

Переходя к формированию иерархической классификации микроГЭС, необходимо выделить ряд приоритетных признаков, которые позволят специалистам мелиоративного комплекса, в частности проектировщикам, без особого труда производить их выбор или насыщать базы знаний дополнительной информацией, связанной с возможными компоновочными реше-

ниями, служащими для увязки гидротехнических сооружений гидромелиоративных систем с микроГЭС. В связи с этим проведем параллель между характеристиками отдельных участков гидромелиоративной системы и требуемыми характеристиками, обеспечивающими работу микроГЭС.

Таблица 1 – Обобщенная фасетная классификация микроГЭС

Признак классифицирования	Значение фасета				
	Φ ₁	Φ ₂	Φ ₃	Φ ₄	Φ ₅
По способу подвода воды к гидроагрегату	Деривационная	Русловая	Свободно-поточная	Гирляндная	–
По принципу использования природных ресурсов	Русловая или плотинная	Приплотинная	Деривационная	Гидроаккумулялирующая	Сифонная
По напору	Безнапорная	Низконапорная	Средненапорная	Высоконапорная	–
По используемой турбине для напорного случая	Пропеллерная	Диагональная	Двукратная (Банки)	Ковшовая (Пельтона)	Наклонно-струйная
По используемой турбине для безнапорного случая	С водяным колесом	С ротором Дарье	С пропеллером	–	–
По мобильности	Стационарная	Мобильная	–	–	–
По номинальному напряжению	Высокого напряжения	Низкого напряжения	–	–	–
По принципу работы турбины	Реактивная	Активная	–	–	–

Наиболее важной, на наш взгляд, для участка гидромелиоративной системы является характеристика, отражающая наличие или отсутствие напора (в совокупности с наличием значительного расхода воды), т. е. даже на равномерной равнинной территории будут присутствовать значительные перепады в отметках между уровнем воды на гидротехнических сооружениях и поверхностью близлежащих земель сельскохозяйственного назначения. Так, при значительной разнице в отметках, например более 3 м, водный поток можно расценивать как потенциально напорный, при котором возникает возможность применения напорных микроГЭС. При незначительных разностях в отметках целесообразно рассматривать водный поток как потенциально безнапорный с применением безнапорных мик-

роГЭС, которые в практике еще называют свободнопоточными. В результате характеристику «Напор» можно считать основой для формирования классификационного признака, который открывает одну из взаимосвязей между гидромелиоративной системой и микроГЭС.

Далее целесообразно рассмотрение принципа деления напорных и безнапорных микроГЭС на классификационные группировки, которые в свою очередь будут находиться в иерархической соподчиненности. Рассматривая обобщенную фасетную классификацию (таблица 1), наиболее близкими в данном случае можно считать значения фасетов, принадлежащие к следующим признакам классифицирования:

- по способу подвода воды к гидроагрегату;
- по принципу использования природных ресурсов.

Для напорных микроГЭС в сочетании с гидротехническими сооружениями гидромелиоративных систем приемлемы следующие компоновки: деривационная, русловая (осевая), гидроаккумулирующая и смешанная. Кратко опишем данную классификационную группировку с точки зрения охвата всех возможностей применения на гидромелиоративных системах.

Деривационная компоновка подразумевает напорный отвод (на значительное расстояние) водного потока от русла канала, использование его для выработки электроэнергии и последующий возврат в первоисточник ниже по направлению течения. В практике имеет место безнапорный деривационный отвод водного ресурса, который в пределах гидромелиоративной системы, по нашему мнению, использовать нецелесообразно, так как имеется аналогичное состояние водного потока в открытых каналах системы.

Русловая (вдольпоточная) компоновка подразумевает использование водного потока непосредственно в пределах русла канала или сечения трубопровода, возможны варианты при незначительном параллельном удалении от их сечений в пределах землеотвода под данное линейное сооружение. В качестве примера можно рассматривать создание напорного течения

водного потока параллельно таким гидротехническим сооружениям, как быстроток или перепад.

Гидроаккумулирующая компоновка подразумевает применение прудов-накопителей, бассейнов регулирования, использующих воду гидромелиоративной системы при приостановке ее работы на максимальных режимах.

Смешанная компоновка подразумевает использование комбинаций вышеперечисленных компоновок, а также дополнительных конструктивных решений, которые будут иметь значительные отличительные признаки. Примером могут служить сифонные микроГЭС – объединение любого из вышеперечисленных видов компоновки с сифоном в качестве части водопроводящего сооружения.

Для безнапорных микроГЭС можно выделить два способа их компоновки: погружная и плавучая. Погружная компоновка обеспечивается за счет расположения гидроагрегата ниже поверхности воды. Плавучая отличается расположением генерирующего блока выше поверхности воды с применением одного из видов плавсредств, удерживаемого в недвижимом состоянии относительно потока.

Переходя к дальнейшему наращиванию уровней классификации, необходимо указать непосредственную взаимосвязь классификации с наиболее значимыми признаками самой микроГЭС, которые позволят определиться с выбором искомого гидроагрегата. Если для генерирующего блока приводятся довольно сжатые градации, например высокого и низкого напряжения, то используемые преобразователи энергии водного потока в механическую энергию представлены довольно широко в виде используемых турбин. Напорные гидроагрегаты комплектуются следующими турбинами: шнековой, двукратной турбиной Банки, ковшовой, лопастной, бироторной. В свою очередь безнапорные гидроагрегаты могут иметь водяное колесо, ротор Дарье, пропеллер.

На основании вышесказанного сформируем иерархическую класси-

кацию микроГЭС, позволяющую систематизировать информацию по трем классификационным признакам. Иерархическая классификация представлена на рисунке 1 и включает следующие уровни:

- 0-й уровень – объект «микроГЭС»;
- 1-й уровень – объединение микроГЭС по классификационному признаку «Наличие (отсутствие) напора»;
- 2-й уровень – объединение микроГЭС по классификационному признаку «Принцип подвода водного ресурса к гидроагрегату»;
- 3-й уровень – объединение микроГЭС по классификационному признаку «Конструкция турбины».

Взаимосвязь между 2-м и 3-м уровнями имеет нечеткую соподчиненность, так как различные конструкции турбин имеют довольно широкий диапазон применения и, по сути, могут быть использованы в любых из представленных компоновочных решений по подводу водного ресурса к гидроагрегату.

Выводы. Территории, обеспеченные дополнительными, удобоиспользуемыми энергетическими ресурсами, позволят сельхозпроизводителю расширить свой технологический потенциал и в итоге иметь более конкурентную на рынке продукцию.

Привязка микроГЭС к водному ресурсу на естественных (река и т. п.) и искусственных (оросительная система) водных объектах в конструктивном плане будет иметь свои отличия, что требует дополнительной проработки конструктивных решений по интеграции микроГЭС с элементами оросительных систем.

Разработанная четырехуровневая иерархическая классификация в первом приближении может быть принята как основа для систематизации информации о микроГЭС и в дальнейшем использована при проектировании гидромелиоративных систем с учетом элементов энергоэффективности и энергосбережения, а также может служить объектом дальнейшего обсуждения.

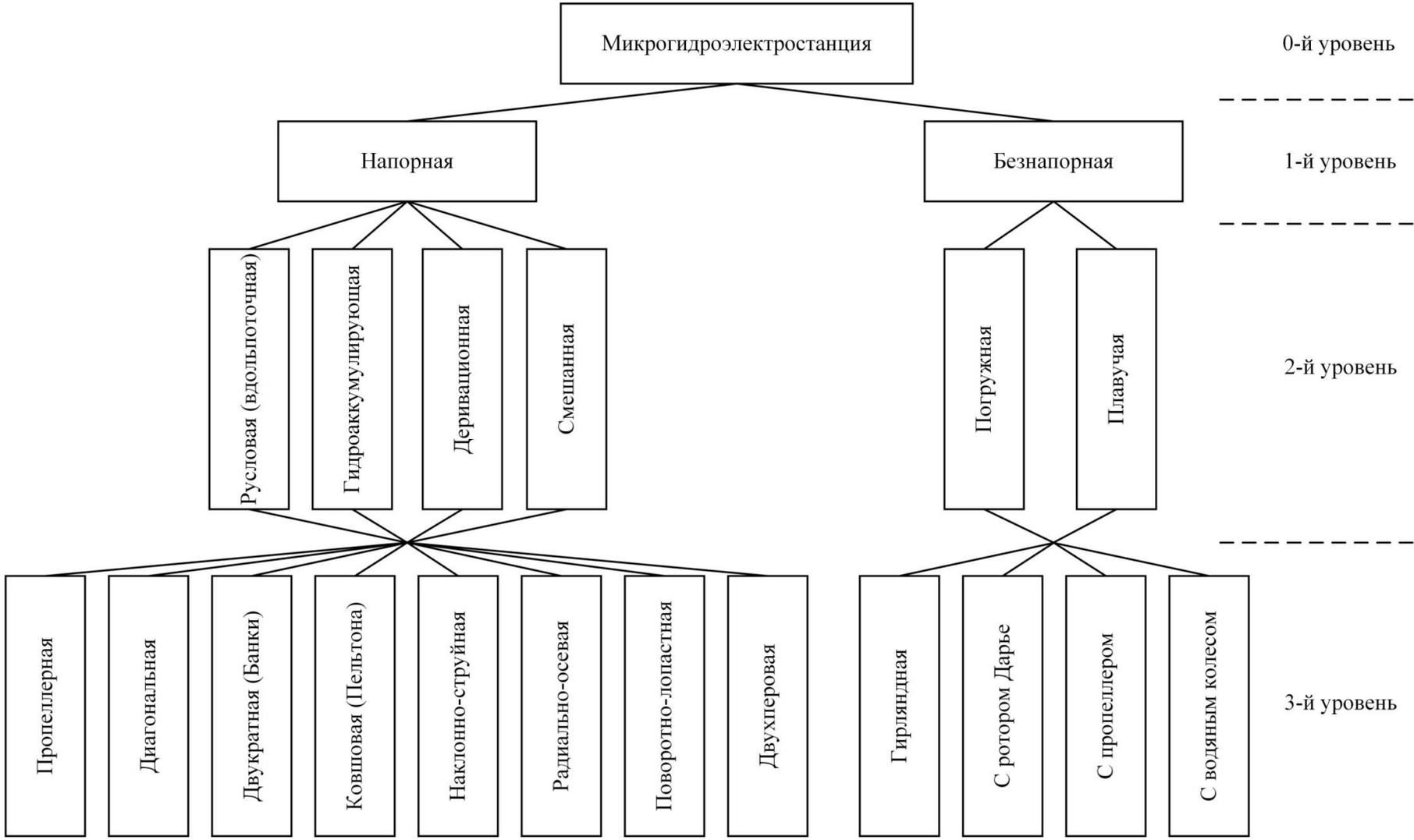


Рисунок 1 – Иерархическая классификация микроГЭС

Список использованных источников

1 Поколения оросительных систем: прошлое, настоящее, будущее: монография / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов, А. А. Чураев, А. Н. Бабичев; под общ. ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 164 с.

2 Кожанов, А. Л. К вопросу разработки энергоэффективных оросительных систем нового поколения / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 3(59). – С. 62–65.

3 Кожанов, А. Л. Конструкции энергоэффективных оросительных систем с безнапорным режимом работы трубопроводов / А. Л. Кожанов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 3(63). – С. 12–17.

4 Оценка перспектив использования малой гидроэнергетики на оросительных системах для обеспечения внутрисистемных потребностей в электроэнергии / В. Н. Щедрин, Д. В. Бакланова, В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3(27). – С. 160–178. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec290-field12.pdf.

5 Моделирование использования энергетического потенциала водных ресурсов деривационной оросительной системы / С. М. Васильев, В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов, Д. В. Бакланова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 112–130. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec549-field6.pdf.

6 Черикова, Д. С. Экономическая оценка эффективности использования микроГЭС в Кыргызской Республике / Д. С. Черикова, С. Т. Чериков, Т. А. Рыспаев // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2014. – № 32-1. – С. 374–377.

7 Принципы построения классификаций мелиоративных систем: науч. обзор / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин, В. В. Слабунов, С. Л. Жук; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2012. – 130 с. – Деп. в ВИНТИ 28.05.12, № 250-В2012.

8 Брызгалов, В. И. Гидроэлектростанции: учеб. пособие / В. И. Брызгалов, Л. А. Гордон. – Красноярск, 2002. – 544 с.

9 Карелина, В. Я. Гидроэлектрические станции / В. Я. Карелина, Г. И. Кравченко. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 464 с.

10 Бляшко, Я. И. Состояние и проблемы малой гидроэнергетики России. Тенденции в развитии мини-ГЭС [Электронный ресурс] / Я. И. Бляшко. – Режим доступа: <https://www.hse.ru/data/2018/06/10/1149857960/Бляшко%20Я.И..pdf>, 2020.

11 Мехдизаде, М. А. Перспективы использования альтернативных источников получения электрической энергии в Исламской республике Иран / М. А. Мехдизаде, С. А. Лаптёнок // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2014. – № 2. – С. 51–57.

12 Картанбаев, Б. А. Руководство по строительству и эксплуатации микрогидроэлектростанций / Б. А. Картанбаев, К. А. Жумадилов, А. А. Зазульский. – Бишкек: ДЭМИ, 2011. – 57 с.

13 Лукутин, Б. В. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций: монография / Б. В. Лукутин, С. Г. Обухов, Е. Б. Шандарова. – Томск, 2001. – 104 с.

14 Хандагуров, Н. А. Перспективы использования микроГЭС в Прибайкалье / Н. А. Хандагуров, Г. В. Лукина // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2017. – № 3. – С. 16.

15 Доржиев, С. С. Свободнопоточная микроГЭС с ускорителем потока / С. С. Доржиев, Е. Г. Базарова // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – № 3(8). – С. 77–80.

16 О выборе типа микроГЭС и ее оптимальной мощности в зависимости от гидрологических параметров / Е. А. Спирин, А. А. Никитин, М. П. Головин, А. Л. Встов-

ский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 4(36). – С. 109.

17 Рудаков, А. И. Классификация и особенности конструкций мини-ГЭС малых потребителей / А. И. Рудаков, И. Б. Нуриахметов // Актуальные вопросы современных исследований: материалы междунар. (заоч.) науч.-практ. конф. – Нефтекамск: Мир науки, 2018. – С. 83–89.

18 Абдюжанов, Р. МикроГЭС – электроэнергия от водного потока (часть первая) [Электронный ресурс] / Р. Абдюжанов. – Режим доступа: http://www.domastroim.ru/articles/electro/electro_1464.html, 2020.

19 Обозов, А. Д. Разработка низконапорной, бироторной микроГЭС / А. Д. Обозов, Р. Ж. Ураимов // Вестник Ошского государственного университета. – 2014. – № 2. – С. 188–192.

20 Устинов, Н. А. Погружная микроГЭС / Н. А. Устинов, Е. А. Ковальчук // Молодой ученый. – 2015. – № 23-1(103). – С. 43–44.

21 Дружинин, А. А. К вопросу о проектировании понтонной низконапорной микроГЭС / А. А. Дружинин // Молодежный научно-технический вестник. – 2015. – № 9. – С. 14.

22 Земсков, Е. А. Гидропривод свободнопоточной мини ГЭС / Е. А. Земсков // Молодежь и наука: сб. материалов IX Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 385-летию со дня основания г. Красноярск [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s055/s055-013.pdf>, 2020.

23 Discussion of simple model of Darrieus type hydraulic turbine in open channel with actuator disk approximation / K. Ota, Y. Teramoto, Y. Katayama, S. Watanabe, Sh. Tsuda, A. Furukawa // The Proceedings of Conference of Kyushu Branch. – 2019. – Vol. 72. – DOI: 10.1299/jsmekyushu.2019.72.E21.

24 Furukawa, A. Research on Darrieus-type hydraulic turbine for extra-low head hydropower utilization / A. Furukawa, S. Watanabe, K. Okuma // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2012. – Vol. 15. – DOI: 10.1088/1755-1315/15/1/012003.

25 Краснов, В. Г. Возобновляемые источники энергии микроГЭС: монография / В. Г. Краснов. – Чебоксары: Эксперт.-метод. центр, 2017. – 56 с.

References

1 Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Balakai G.T., Kosichenko Yu.M., Kolganov A.V., Churaev A.A., Babichev A.N., 2012. *Pokoleniya orositel'nykh sistem: proshloe, nastoyashchee, budushchee: monografiya* [Generations of Irrigation Systems: Past, Present, Future: monograph]. Novocherkassk, SRSTU (NPI) Publ., 164 p. (In Russian).

2 Kozhanov A.L., Voevodin O.V., 2015. *K voprosu razrabotki energoeffektivnykh orositel'nykh sistem novogo pokoleniya* [On the issue of developing energy-efficient irrigation systems of a new generation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(59), pp. 62-65. (In Russian).

3 Kozhanov A.L., 2016. *Konstruktzii energoeffektivnykh orositel'nykh sistem s beznapornym rezhimom raboty truboprovodov* [Designs of energy-efficient irrigation systems with pressureless mode of pipelines operation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(63), pp. 12-17. (In Russian).

4 Shchedrin V.N., Baklanova D.V., Bondarenko V.L., Lobanov G.L., 2017. [Evaluation of perspectives of using small hydropower on irrigation systems to meet internal needs in electricity]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(27), pp. 160-178, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec290-field12.pdf. (In Russian).

5 Vasiliev S.M., Bondarenko V.L., Lobanova G.L., Baklanova D.V., 2018. [Modeling

of power potential use of water resources of the diversion irrigation system]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(30), pp. 112-130, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec549-field6.pdf. (In Russian).

6 Cherikova D.S., Cherikov S.T., Ryspaev T.A., 2014. *Ekonomicheskaya otsenka effektivnosti ispol'zovaniya mikroGES v Kyrgyzskoy Respublike* [Economic evaluation of the efficiency of using microhydroelectric power plants in Kyrgyz Republic]. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova* [Bull. of Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov], no. 32-1, pp. 374-377. (In Russian).

7 Kozhanov A.L., Voevodin O.V., Slabunov V.V., Zhuk S.L., 2012. *Printsipy postroeniya klassifikatsiy meliorativnykh sistem: nauchyy obzor* [Principles for constructing classifications of reclamation systems: scientific review]. Novocherkassk, 130 p., deposited in VINITI on 28.05.2012, no. 250-V2012. (In Russian).

8 Bryzgalov V.I., Gordon L.A., 2002. *Gidroelektrostantsii: uchebnoe posobie* [Hydroelectric Power Plants: a textbook]. Krasnoyarsk, 544 p. (In Russian).

9 Karelina V.Ya., Kravchenko G.I., 1987. *Gidroelektricheskie stantsii* [Hydroelectric Power Plants]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 464 p. (In Russian).

10 Blyashko Ya.I., 2020. *Sostoyaniye i problemy maloy gidroenergetiki Rossii. Tendentsii v razvitiy mini-GEN* [State and Problems of Small Hydropower in Russia. Tendencies in the Development of Mini-Hydroelectric Power Plants], available: <https://www.hse.ru/data/2018/06/10/1149857960/Бляшко%20Я.И..pdf>. (In Russian).

11 Mekhdizadekh M.A., Laptanok S.A., 2014. *Perspektivy ispol'zovaniya al'ternativnykh istochnikov polucheniya elektricheskoy energii v Islamskoy respublike Iran* [Prospects for using alternative sources for obtaining electric energy in the Islamic Republic of Iran]. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob'yedineniy SNG* [Energy. Bull. of Higher Educational Institutions and Energy Associations of the CIS], no. 2, pp. 51-57. (In Russian).

12 Kartanbaev B.A., Zhumadilov K.A., Zazulsky A.A., 2011. *Rukovodstvo po stroitel'stvu i ekspluatatsii mikrohidroelektrostantsiy* [Guide to the Construction and Operation of Micro Hydropower Plants]. Bishkek, DEMI Publ., 57 p. (In Russian).

13 Lukutin B.V., Obukhov S.G., Shandarova E.B., 2001. *Avtonomnoe elektroobezpecheniye ot mikrohidroelektrostantsiy: monografiya* [Autonomous Power Supply from Microhydroelectric Power Plants: monograph]. Tomsk, 104 p. (In Russian).

14 Khandagurov N.A., Lukina G.V., 2017. *Perspektivy ispol'zovaniya mikroGES v Pribaykal'ye* [Prospects for the use of microhydroelectric power stations in the Baikal region]. *Molodezhnyy vestnik IrGTU* [Youth Bulletin of ISTU], no. 3, p. 16. (In Russian).

15 Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., 2014. *Svobodnopotochnaya mikroGES s uskoritelem potoka* [The free-flow of the micro hydropower station with the flow accelerator]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve* [Innovations in Agriculture], no. 3(8), pp. 77-80. (In Russian).

16 Spirin E.A., Nikitin A.A., Golovin M.P., Vstovsky A.L., 2012. *O vybere tipa mikroGES i ee optimal'noy moshchnosti v zavisimosti ot gidrologicheskikh parametrov* [On the choice of the of microhydroelectric power station type and its optimum capacities depending on hydrological parameters]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], no. 4(36), p. 109. (In Russian).

17 Rudakov A.I., Nuriakhmetov I.B., 2018. *Klassifikatsiya i osobennosti konstruktivnykh mini-GEN malykh potrebiteley* [Classification and design features of mini-hydroelectric power plant for small consumers]. *Aktual'nye voprosy sovremennykh issledovaniy: materialy mezhdunarodnoy (zaoch.) nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Urgent Issues of Modern Research: Proc. of International (ext.) Scientific and Practical Conference]. Neftekamsk, World of Science Publ., pp. 83-89. (In Russian).

18 Abdyyuzhanov R., 2020. *MikroGES – elektroenergiya ot vodnogo potoka (chast' pervaya)* [Micro HPP – electricity from a water stream (part one)], available: http://www.domastroim.ru/articles/electro/electro_1464.html. (In Russian).

19 Obozov A.D., Uraimov R.Zh., 2014. *Razrabotka nizkonapornoy, birotornoy mikroGES* [Development of a low-pressure, bi-rotor micro HPP]. *Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bull. of Osh State University], no. 2, pp. 188-192. (In Russian).

20 Ustinov N.A., Koval'chuk E.A., 2015. *Pogruzhnaya mikroGES* [Submersible micro hydropower electric plant]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], no. 23-1(103), pp. 43-44. (In Russian).

21 Druzhinin A.A., 2015. *K voprosu o proyektirovanii pontonnoy nizkonapornoy mikroGES* [On the design of a pontoon low-head micro hydropower plant]. *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskyy vestnik* [Youth Scientific and Technical Bull.], no. 9, p. 14. (In Russian).

22 Zemskov E.A., 2013. *Gidroprivod svobodnopotchnoy mini GES* [Hydraulic drive of a free-flow mini hydroelectric plant]. *Molodezh' i nauka: sbornik materialov IX Vserossiyskoy nauch.-tekhn. konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashch. 385-letiyu so dnya osnovaniya g. Krasnoyarska* [Youth and Science: Proc. of IX All-Russian scientific and technical conference for students, graduate students and young scientists dedicated to 385th anniversary of the Krasnoyarsk town foundation]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, available: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s055/s055-013.pdf> [accessed 2020]. (In Russian).

23 Ota K., Teramoto Y., Katayama Y., Watanabe S., Tsuda Sh., Furukawa A., 2019. Discussion of simple model of Darrieus type hydraulic turbine in open channel with actuator disk approximation. The Proc. of Conference of Kyushu Branch, vol. 72, DOI: 10.1299/jsmekyushu.2019.72.E21.

24 Furukawa A., Watanabe S., Okuma K., 2012. Research on Darrieus-type hydraulic turbine for extra-low head hydropower utilization. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 15, DOI: 10.1088/1755-1315/15/1/012003.

25 Krasnov V.G., 2017. *Vozobnovlyаемые источники энергии mikroGES: monografiya* [Renewable Energy Sources of Microhydroelectric Power Plant: monograph]. Cheboksary, Expert Methodological Center Publ., 56 p. (In Russian).

Воеводин Олег Владимирович

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Voyevodin Oleg Vladimirovich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Слабунов Владимир Викторович

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Slabunov Vladimir Viktorovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Кириленко Андрей Андреевич

Должность: младший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Kirilenko Andrey Andreyevich

Position: Junior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.05.2020

После доработки 22.06.2020

Принята к публикации 30.06.2020