

*В.А. Кузьмин, Д.В. Соколова, А.А. Полякова, Ю.В. Принцевская,  
С.В. Еремина, И.С. Гаврилов, М.В. Симановская*

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ  
ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНИВАНИЯ  
ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ПОТЕНЦИАЛА РЕК И ИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ  
УЯЗВИМОСТИ**

*V.A. Kuzmin, D.V. Sokolova, A.A. Polyakova, Y.V. Printsevskaya,  
S.V. Eremina, I.S. Gavrilov, M.V. Simanovskaya*

**OPTIMIZATION OF HYDROPOWER FACILITIES ALLOCATION  
BASED ON ASSESSMENT OF RIVERS THEORETICAL  
HYDROPOWER POTENTIAL  
AND THEIR HYDROMETEOROLOGICAL VULNERABILITY**

*В статье предложен новый способ оптимизации размещения объектов гидроэнергетики на основе оценивания теоретического и технического гидроэнергетического потенциала рек, а также возможной гидрометеорологической уязвимости этих объектов в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки на речные водосборы. Используемая двухкомпонентная целевая функция, определяемая методом Парето, является «экономической», однако при наличии практической заинтересованности со стороны пользователя она также может учитывать социальные факторы.*

*Ключевые слова: гидроэлектростанция, гидроэнергетика, гидроэнергетический потенциал, гидрометеорологическая уязвимость, гидрологические риски, оптимизация, оценивание.*

*In this paper, a new method is proposed, which is aimed to optimize the allocation of hydropower facilities on the basis of assessment of the theoretical and technical hydropower potential of rivers, as well as the possible vulnerability of hydro-meteorological facilities caused by the climate change and variable anthropogenic impact on river catchments. Currently implemented a two-component objective function defined by Pareto method is «economic», however, it can also take into account social factors, if this is required to satisfy user's practical interests.*

*Key words: hydroelectric power station, hydropower industry, hydroelectric potential, hydrometeorological vulnerability, hydrological risks, optimization, estimation.*

Гидроэнергетические ресурсы – это часть водных ресурсов территории (административной единицы или отдельного водосбора), которая может быть использована для производства электроэнергии. Благодаря высокому уровню промышленного развития, страны Западной Европы и Северной Америки в те-

чение длительного времени опережали все другие страны по степени освоения гидроэнергоресурсов. Уже в середине 20-х годов гидропотенциал был освоен в Западной Европе примерно на 6 %, а в Северной Америке, располагавшей в этот период наибольшими гидроэнергетическими мощностями, – на 4 %. Через полвека соответствующие показатели составляли для Западной Европы около 60 %, а для Северной Америки – примерно 35 %. И если в развитых странах гидропотенциал в середине 70-х использовался примерно на 45 %, то в развивающихся странах – только на 5%. Для всего мира этот показатель в целом составляет 18 %. Таким образом, пока еще для мира характерно использование лишь небольшой части гидроэнергетического потенциала [1, 2, 3, 4]. Водность рек, а с ней и гидроэнергетический потенциал существенно изменяется во времени. Наибольшая водность характерна для весеннего половодья. Гидроэнергетический потенциал водотоков региона подразделяется на теоретический или валовый, технический и экономический [1, 2, 3, 4].

Технический потенциал представляет собой часть валового потенциала энергии водотока. В традиционной гидроэнергетике технический потенциал определяется как валовый, уменьшенный на величину потерь гидроэнергии в процессе ее преобразования в электроэнергию на ГЭС, а также потери от неиспользуемых участков водотока, различные потери в водохранилище и др. Таким образом, для ГЭС плотинного типа технический потенциал гидроэнергии – это энергетический максимум генерируемой электроэнергии, который может быть получен на данном водотоке с использованием современных технических средств и технологий энергопреобразования [1, 3, 4].

Валовая мощность водотока, характеризующая собой его теоретическую мощность, определяется по формуле

$$N_{\text{квт}} = 9,81 QH, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход водотока, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – падение, м.

Мощность определяется для трех характерных расходов:  $Q = 95$  % – расход, обеспеченностью 95 % времени;  $Q = 50$  % – обеспеченностью 50 % времени;  $Q_{\text{ср}}$  – среднеарифметический [5, 7].

Теоретический валовой (брутто) потенциал гидроэнергетический потенциал (или общие гидроэнергетические ресурсы) подразделяется на поверхностный, учитывающий энергию стекающих вод на территории целого района или отдельно взятого речного бассейна, или речной, учитывающий энергию водотока [5]. Эксплуатационный чистый (или нетто) гидроэнергетический потенциал подразделяется на технический (часть теоретического валового речного потенциала, которая технически может быть использована или уже используется) и экономический (часть технического потенциала, использование которой в существующих реальных условиях экономически оправдано) [6].

Несмотря на исключительную важность гидроэнергетического потенциала как определяющего фактора размещения объектов гидроэнергетики, он не явля-

ется ни единственным, ни решающим, поскольку не менее важным фактором является гидрометеорологическая уязвимость проектируемого гидротехнического сооружения (ГТС).

Рассмотрим вопрос комплексного учёта гидроэнергетического потенциала рек и гидрометеорологической уязвимости проектируемых ГТС более подробно.

При решении оптимизационных задач первостепенным и важнейшим шагом является выбор целевой функции  $J$  – количественного или качественного критерия эффективности того или иного решения. В качестве целевой функции можно использовать, например, среднеквадратическое отклонение спрогнозированных значений какой-либо гидрометеорологической переменной от фактических [8].

При решении задачи оптимизации размещения объектов малой гидроэнергетики на основе оценивания теоретического и технического гидроэнергетического потенциала рек, а также возможной гидрометеорологической уязвимости этих объектов, целевая функция должна быть «экономической», однако при наличии практической заинтересованности со стороны пользователя она также может учитывать социальные факторы – например, численность населения, возможность создания новых рабочих мест и т.д. Такие факторы тоже можно в той или иной степени выразить «экономической» целевой функцией, поэтому в данной НИР мы сосредоточимся лишь на учёте практически осязаемых факторов – гидроэнергетического потенциала и гидрометеорологических рисков [9, 14].

Выбор целевой функции (англ. *objective function*) – это, по большому счёту, единственный полностью субъективный шаг, совершаемый при решении задачи оптимизации, поскольку он зависит исключительно от интересов, пристрастий и пожеланий пользователя, которые могут быть ошибочными или некорректно сформулированными. Выбор оптимизационной процедуры – процедуры поиска «наилучшего» решения – также не является абсолютно объективным шагом, поскольку в мире существуют десятки или даже сотни широко используемых оптимизационных процедур, использование которых может приводить к абсолютно разным решениям. Это происходит в том случае, когда поверхность отклика, отражающая зависимость целевой функции от определяющих её параметров, является невыпуклой и/или многомерной

В нашем случае целевая функция зависит лишь от двух параметров – гидроэнергетического потенциала  $N$  и гидрометеорологического риска  $R$ :  $J = f(N, R)$  [10].

В свою очередь, риск  $R$  представляет собой произведение вероятности наступления опасного события (в частности, ОГЯ)  $P$  и наносимого этим событием материального ущерба  $L$  (от англ. *losses* – потери). Таким образом,  $J = f(N, P \times L)$ , где  $L$  всецело зависит от эффективности управленческих решений потребителя, поэтому в данной статье не рассматривается.

Очевидно, что наилучшим можно считать любое решение, при котором экономический гидроэнергетический потенциал положителен (то есть исполь-

зование ГЭС на данном водотоке экономически выгодно с учётом всех издержек), а риск равен нулю.

К сожалению, на практике обычно встречается совершенно другое положение дел: на водотоках с высоким гидроэнергетическим потенциалом весьма высоки и гидрометеорологические риски (в частности, риск разрушения или повреждения малой ГЭС, оборудования и инфраструктуры в результате прохождения катастрофического паводка или половодья) [11, 12, 13]. Поэтому в данной статье предлагается осуществлять поиск оптимального значения целевой функции  $J$  на основе подхода Парето. Оптимальность по Парето — такое состояние системы, при котором значение каждого частного показателя, характеризующего систему, не может быть улучшено без ухудшения других. В нашем случае — «улучшение» гидроэнергетического потенциала автоматически означает «ухудшение» гидрометеорологического риска, как это показано на рис. 1.

Нетрудно заметить, что потери  $L$  фактически лишь задают масштаб горизонтальной оси, отражающей гидрометеорологические риски, и принципиального влияния на метод поиска оптимального решения не оказывают.

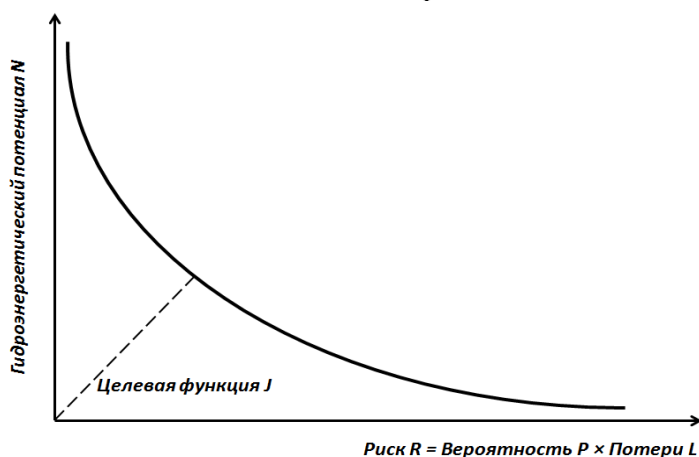


Рис. 1. Иллюстрация метода поиска оптимального решения по Парето

Таким образом, предлагаемый метод размещения объектов малой гидроэнергетики на основе оценивания теоретического и технического гидроэнергетического потенциала рек сводится к выполнению следующих шагов:

1. Для исследуемой территории (страны, региона, водосбора и т.д.) рассчитываются и картируются значения гидроэнергетического потенциала  $N$  и гидрометеорологического риска  $R$  (или лишь вероятностной составляющей риска —  $P$ ).
2. Рассчитываются и картируются (в виде изолиний с заданным шагом) значения целевой функции  $J$  на основе подхода Парето. В этом случае целевая функция  $J$  представляет собой гипотенузу треугольника с координатами  $\{(0,0); (0, N_i); (P_i, 0)\}$ .

Области карты целевой функции  $J$ , представляющей собой проекцию поверхности отклика  $J = f(N, P \times L)$ , соответствующие наименьшим значениям  $J$ , считаются оптимальными зонами размещения объектов гидроэнергетики (в частности, малой гидроэнергетики). На рис. 2 оптимальная зона со значениями целевой функции менее 10 условных единиц выделена более тёмным цветом [15].

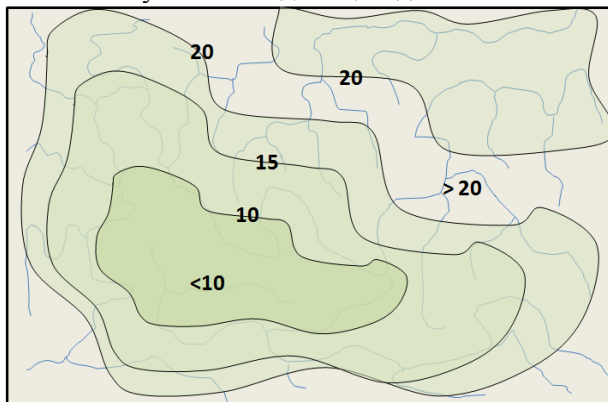


Рис. 2. Иллюстрация применения метода оптимизации размещения объектов малой гидроэнергетики (карта значений целевой функции  $J$ )

Описанный подход может и должен быть использован при подготовке следующих поколений сводов правил и другой нормативной литературы, регламентирующей проектирование ГТС в гидроэнергетике и других метеозависимых отраслях экономики нашей страны.

### **Литература**

- Определение расчетных гидрологических характеристик, СНиП 2.01.14-83, Государственный комитет СССР по делам строительства. – М., 1985.
- Свод правил «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», СП 33-101-2003. – М.: Стройиздат, 2004.
- Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеониздат, 1972.
- Карлин Л.Н., Кузьмин В.А., Дикинис А.В., Иванов М.Э., Шилов Д.В., Бородин Е.Г., Степанова Е.Д., Макин И.С., Чубарова А.В., Румянцев Д.Ю., Шеманаев К.В. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка технологий мониторинга, расчёта и прогнозирования гидрометеорологической уязвимости гидротехнических сооружений в условиях изменения климата и переменной антропогенной нагрузки». – СПб., 2013.
- Кузьмин В.А. Комплексное использование данных дистанционного зондирования, наземных наблюдений и численных прогнозов погоды при автоматизированном прогнозировании стока // Уч. зап. РГТМУ, 2011, № 22, с. 16-27.
- Кузьмин В.А. Алгоритмы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования паводков // Метеорол. и гидрол., 2009, № 7, с. 92-104.
- Кузьмин В.А. Аппаратно-программный комплекс «Inwada» по поиску, передаче и хранению гидрометеорологической информации в целях фонового прогнозирования опасных гидрологических явлений // Естествен. и технич. науки, 2009, № 6, с. 258-270.

- Кузьмин В.А.* Оценка увлаженности водосбора по данным дистанционного зондирования, наземных гидрометрических наблюдений и математического моделирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 45-57.
- Кузьмин В.А.* О возможности повышения заблаговременности прогнозов стока средних рек путем стыковки гидродинамических моделей погоды и гидрологических моделей // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 16, с. 22-27.
- Кузьмин В.А.* Основные принципы автоматической калибровки многопараметрических моделей, используемых в оперативных системах прогнозирования дождевых паводков // Метеорол. и гидрол., 2009, № 6, с. 74-85.
- Кузьмин В.А.* Постобработка и корректировка прогнозов паводков, выпускаемых при помощи автоматизированных систем // Метеорол. и гидрол., 2009, № 8, с.80-90.
- Кузьмин В.А.* Принципы автоматической обработки данных в автоматизированных системах прогнозирования стока // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 28-37.
- Кузьмин В.А.* Расчет максимальных расходов весеннего половодья методом оптимизации интегрального поправочного коэффициента // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 14, с. 5-13.
- Кузьмин В.А.* Фоновое прогнозирование стока в режиме, близком к реальному времени // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 38-44.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.6 федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (проект № 14.516.11.0072 от 27 июня 2013 г.).