УДК 556.1.18
doi 10.24411/2077-6896-2019-10006

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕК РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

Кенден К.В.
Тувинский государственный университет, г. Кызыл

METHODS OF CALCULATING THE HYDROENERGETIC POTENTIAL OF THE RIVERS OF THE REPUBLIC OF TYVA

Kenden K.V.
Tuvan State University, Kyzyl

Республика Тыва является регионом с огромным гидроэнергетическим потенциалом, который по оценке РусГидро составляет порядка 8 ГВт. С использованием энергии малых рек можно частично или полностью решить вопрос электрификации удаленных населенных пунктов республики, функционирующих от дизельных генераторов. Но потенциал малых рек Тывы практически не изучен и требует дополнительных гидроэнергетических расчетов для дальнейшей технико-экономической оценки строительства малых и микро гидроэлектростанций.

В работе выполнен анализ косвенных методов расчета гидроэнергетического потенциала малых рек при отсутствии водомерных постов. Аналитический обзор позволил выбрать метод линейного учета, позволяющий рассчитать потенциал перспективных рек Тувы для строительства малых и микро гидроэлектростанций. Оценка валового гидроэнергетического потенциала малых рек республики Тыва определила перспективные створы для сооружения малой гидроэлектростанции для полной или частичной замены дизельных генераторов.

Ключевые слова: малые гидроэлектростанции, гидроэнергетический потенциал, Тыва, расход реки, створы, децентрализованные населенные пункты.

The Republic of Tuva is a region with a huge hydropower potential, which according to RusHydro is about 8 GW. Using the energy of small rivers, it is possible to partially or completely solve the problem of electrification of remote settlements of the Republic, operating from diesel generators. But the potential of the small rivers of Tuva is practically not studied and requires additional hydropower calculations for further technical and economic assessment of the construction of small and micro hydroelectric power plants.

The paper analyzes the indirect methods of calculating the hydropower potential of small rivers in the absence of water metering stations. The analytical review allowed us to choose the method of linear accounting, which allows us to calculate the potential of promising rivers Tuva for the construction of small and micro hydroelectric power plants. Assessment of the gross hydropower potential of the small rivers of the Republic of Tuva has identified promising areas

for the construction of small hydroelectric power for complete or partial replacement of diesel generators.

Keywords: small hydropower stations, hydropower potential, Tuva, river discharge, sections, decentralized settlements.

В России проводятся крупномасштабные исследования гидроэнергетического потенциала рек для определения перспективных створов с целью строительства малых гидроэлектростанций (МГЭС) [1].

Исследования гидроэнергетического потенциала рек России проводились с 1940 по 1980-е годы под руководством С. В. Григорьева (1946) [3], А.Н. Вознесенского (1967) [4] и Б.Н. Фельдмана (1989) [5].

По результатам проведенных исследований стоит отметить, что оценка гидроэнергетического потенциала только для крупных и некоторых средних рек носит приближенный характер из-за недостаточных изученности стока рек и точности исходных топографических данных [4]. Поэтому потенциал гидроэнергетический потенциал малых рек в масштабах всей страны не была проведена.

В настоящее время из-за уменьшения сети метеорологических станций и водомерных постов на реках, озерах и водохранилищах невозможно получить объективные гидрологические сведения. Например, на территории Республики Тыва до 1991 г. существовало 22 пункта наблюдений, а сейчас действует 16 водомерных постов.

Для оценки гидроэнергетического потенциала малых рек при отсутствии водомерных постов используются косвенные методы определения гидроэнергетического валового потенциала. Выбор методики расчета определяется по располагаемой исходной информацией (данные о речном стоке, топографические характеристики речной сети).

По уравнению Бернулли полная энергия E, кгс·м [2, 5, 6]:

$$E = E_1 - E_2 = \rho g W \left[\left(z_1 + \frac{P_1}{\rho g} \right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \right) + \left(\frac{\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2}{2g} \right) \right], \quad (1)$$

где E1, E2 – разности энергий на участке L1-2, ограниченном створами 1-1 и 2-2 g, м/с2 – ускорение свободного падения; ρ, кг/м3 – плотность жидкости; P/ρg, м – удельная потенциальная энергия давления в точке центра тяжести живого сечения водотока при избытке давления в рассматриваемой точке; z, м – удельная потенциальная энергия положения, измеряемая высотой расположения центра тяжести живого сечения водотока над принятой плоскостью отсчета; W, м3 – объем потока жидкости; αV2/2g – удельная кинетическая энергия жидкости; α – коэффициент Кориолиса, который учитывает неравномерность распределения скоростей жидкости по высоте живого сечения; V, м/с – средняя скорость потока в данном живом сечении.

С учетом близости створов выражение (1) примет вид:

$$E = \rho g W(\nabla_1 - \nabla_2) = \rho g W H_{1-2}, \quad (2)$$

где $H_{1-2} = \nabla_1 - \nabla_2$, м – напор или удельная потенциальная энергия потока жидкости на участке L1-2.

Разделив (2) на T, сек., и учитывая, что 1 кГс·м/с=9,80665 Вт, а ρ=1000 кг/м3, средняя мощность на участке водотока P1-2, Вт (См. рисунок 1):

$$P_{1-2} = 9{,}81 Q_{1-2} H_{1-2}, \quad (3)$$

где Q1-2 , м3/с – разность уровней расхода воды.

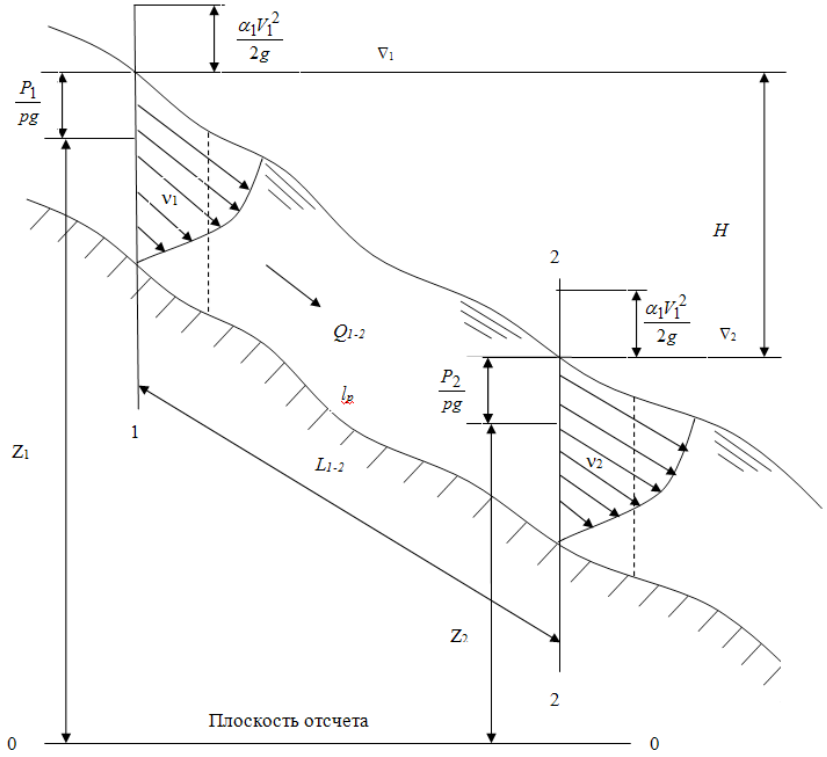

Рисунок 1 – Схема водотока реки

При его средней мощности P1-2 валовый потенциал энергии водотока на участке L1-2:

$$E = 8760 P_{1-2}, \quad (4)$$

Из (3) следует, что валовый гидроэнергетический потенциал зависит от напора и расхода воды по всему речному стоку.

В зависимости от имеющейся информации ниже представлены методы расчета валового гидроэнергетического потенциала: «метод средней реки», «метод базисных бассейнов», «метод линейного учета» и «метод относительных координат».

Метод средней реки, представленный С.В. Григорьевым, заключается в выборе средней реки из каждой группы рек по протяженности в исследуемом регионе. Тогда валовая потенциальная мощность малой реки $P^{20;}_{<0;}$, кВт:

$$P^{20;}_{<0;} = \alpha_P P^{?@54}_{A@54}, \quad (5)$$

где $P^{?@54}_{A@54}$, кВт – предельная потенциальная мощность средней реки, α_P – коэффициент теоретической мощности, который равен:

$$\alpha_P = \sum \frac{(Q_1 + Q_2) \times H_{@}}{2 \times {}^{?@54}_{A@54}},$$

$$\alpha_P = \sum \frac{(Q_1 + Q_2) H_P}{2 P_{A@5}^{?@5}}, \quad (6)$$

где Нр, м – падение реки от истока до устья.

Потенциальная мощность средней реки $P_{A@5}^{?@5}$ кВт:

$$P_{A@5}^{?@5} = 9{,}8 \bar{Q}_{CAB} H_{P,} \quad (7)$$

где $\bar{Q}_{CAB}$, м3/с – средний расход реки в устье реки.

Соответственно, валовой гидроэнергетический потенциал малых водотоков $N_{<0;}^{20;}$, кВт*ч:

$$N_{<0;}^{20;} = 8760 P_{<0;}^{20;}, \quad (8)$$

Значение коэффициента теоретической мощности α_P изменяется в больших пределах для однотипных рек, а также может совпадать у рек различных типов, соответственно, может произойти увеличение или понижение мощности. Не совсем корректно применять формулу (7) при определении валовой мощности, т. к. используются значения расхода начального или конечного участка.

Согласно методу базисных бассейнов, предложенный С. В. Клоповым, определяются более изученные малые речные бассейны, для которых рассчитывается гидроэнергетический модуль mэ, кВт/км2:

$$m_M = \frac{P_{107}}{F_{107}}, \quad (9)$$

P_{107}, кВт – мощность базисного бассейна, F_{107}, км2 – площадь водосбора бассейна.

Потенциальная мощность исследуемого бассейна Рбаз, кВт:

$$P_{10A} = m_M \frac{m_{8AA;}}{m_{107}}, \quad (10)$$

где m_{8AA}, m_{107}, л/с км2 – средние модули стока исследуемого и базисного бассейнов соответственно; $\frac{m_{8AA;}}{m_{107}}$, – поправка, применяемая в случае, если модуль исследуемых речных участков данного региона mиссл значительно отличается от mбаз.

Потенциальная мощность малых притоков Рприт, кВт, основной реки:

$$P_{?@8B} = P_{>A=} \frac{F_{?@8B}}{F_{>A=}} \times \frac{m_{?@8B}}{m_{>A=}}, \quad (11)$$

где $P_{>A=}$, кВт – суммарная мощность основной реки; $F_{>A=}$, км2 и mосн, л/с км2 – площадь бассейна основной реки, расположенной на расстоянии L от истока и соответствующий модуль стока; $F_{?@8B}$, км2 и mприт, л/с км2 – площадь бассейна притока и модуль стока.

В выше представленном методе продольные профили притоков должны иметь такой же характер, как и продольные профили основных рек. Метод дает хорошие результаты для речных бассейнов достаточно изученных в отношении стока. Для определения гидроэнергетического потенциала и установления правильного соотношения между их видами, следует определить ту часть, которую технически можно использовать. Но эту часть энергоресурсов, возможно, определить при учете всех потерь, возникающих при добыче энергоресурсов, производстве энергии и ее преобразовании на гидротехнических установках.

При использовании метода линейного учета предполагается, что характер изменения расхода вдоль участка должен быть линейным. Поэтому, расчет валового гидроэнергетического потенциала начинается с определения значений H1-2 и Q1-2 в каждом участке водотока.

С использованием топографических

карт, космических средств и аэрофотосъемки рассчитывается продольный профиль водотока с указанием месторасположения расчетных створов и длина реки.

С целью обеспечения надёжной и безаварийной эксплуатации малых ГЭС при выборе параметров ее параметров представляет наибольший практический интерес среднемноголетний расход и максимальный паводковый расход Q.

На основе многолетних наблюдений производится расчет расхода воды в каждом j-м створе. При его отсутствия применяют карты для каждого j-го створа с изолиниями модулей среднегодового стока m, л/(с·км2) и водосборной поверхности бассейна F, км2 (См. рисунок 2.).

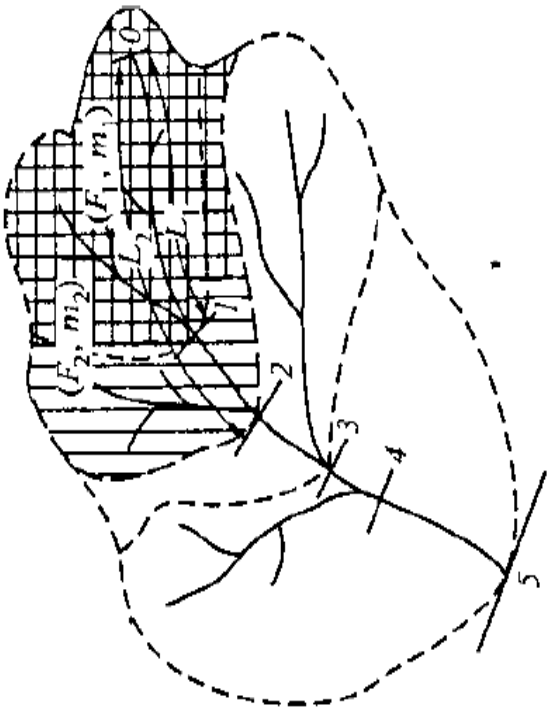

Рисунок 2 – Схема речного бассейна

В этом случае Qj, м3/с, определяется следующим образом:

$$Q_{j=}\frac{m_j F_j}{1000}. \quad (12)$$

Далее рассчитывается водноэнергетический кадастр водотока, т. е. зависимости изменения расхода, зависимости изменения потенциальной мощности, зависимости изменения удельной потенциальной мощности ,кВт/км:

$$i_{i,i-1}^{P}=\frac{P_{i,i-1}}{l_{i,i-1}}, \quad (13)$$

где $l_{i,i-1}=L_i-L_{i-1}$ длина расчетного водотока.

Суть метода относительных координат, разработанного в Московском энергетическом институте в результате исследований в области малой гидроэнергетики, заключается в предварительном анализе и клас-

сификации имеющихся рек региона для идентификации групп рек, соответственно изменению площади, расхода и профиля по длине реки (I, II и III), для которых в относительных единицах определяют в аналитическом виде зависимости, используя современные методы номографии.

.Для определения кадастра водотока любой из остальных рек региона рассчитывается длина водотока исследуемой реки по картам, при этом следует учесть ее физические параметры – изменения уровней и поверхности воды и расчетного расхода по длине водотока по следующим выражениям:

$$L^* = \frac{L}{L_{max}},$$

$$\nabla^*\left(L^*\right) = \frac{\nabla\left(L\right)}{H_{max}},$$

$$\mathrm{Q}^*\left(L^*\right) = \frac{\mathrm{Q}\left(L\right)}{Q_{max}}, \quad (14)$$

Далее рассчитывается водноэнергетический кадастр водотока. Данный метод применяется в случае наличия исходной информации, по которой рассчитывается его технический потенциал.

В связи с недостаточной обеспеченностью территории Республики Тыва для анализа потенциала используют топографические и общегеографическая карта. Аналитический обзор представленных методов расчета валового гидроэнергетического потенциала и имеющейся исходной информации по Республике Тыва, дает возможность сделать вывод, что метод линейного учета позволяет определить валовой гидроэнергетический потенциал Тувы.

В Республике Тыва наибольшим гидроэнергетическим потенциалом обладает бассейн Большого Енисея, протекающий в Тоджинском, Пий-Хемском и Кызылском районах (См. рисунок 3). Все населенные пункты Тоджинского района полностью изолированы от централизованного электроснабжения, а в Пий-Хемском районе имеются 2 населенных пункта, получающих электроснабжение от дизельных генераторов. Тоджинский район, полностью изолированный от централизованного электроснабжения, несет наибольшие убытки по сравнению с другими децентрализованными районами в республике из-за своей отдаленности и труднодоступности. Энергоснабжение в районе осуществляется четырьмя дизельными электростанциями в населенных пунктах Тоора-Хем и Ий, Ырбан, Сыстыг-Хем, Хамсара [7-10].

Некоторые створы (1, 2, 3, 4) расположены на большом удалении от населенных пунктов в труднодоступных местах, а остальные створы (11, 12, 13, 14), наоборот - в зоне централизованного электроснабжения. Для электроснабжения потребителей с использованием малых ГЭС следует исследовать створы (5, 6, 7, 8, 9, 10) вблизи населенных пунктов.

По выбранному автором методу линейного учета для рассматриваемых створов были определены значения Qj, м3/с при выбранном значении Н,м (См. Таблица 1).

Населенные пункты Сыстыг-Хем и Хамсара отличаются своей изолированностью, меньшей потребляемой нагрузкой и расположены на большом удалении от крупных населенных пунктов района. Поэтому строительство МГЭС для этих населенных пунктов в настоящее время является экономически не эффективным.

Поэтому для обеспечения электроэнергией наиболее крупных потребителей (Ырбан, Тоора-Хем, Ий) за счет строительства малой ГЭС перспективным является створ, расположенный в 40 км ниже по течению от с. Тоора-Хем на р. Большой Енисей. Для дальнейшей оценки эффективности створа необходимо выполнить технико-экономический расчет створа.

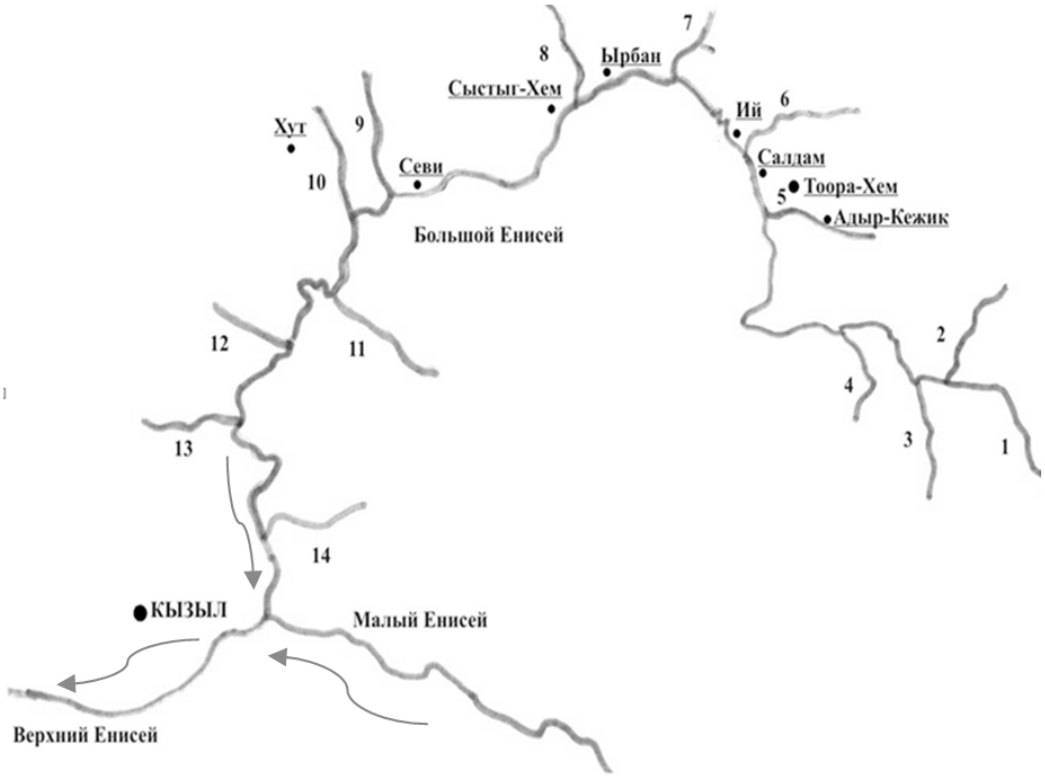

Рисунок 3 – Речная сеть бассейна Большой Енисей

Таблица 1 - Рассчитанные значения среднегодовых расходов воды в створе

№ створа i	Створ	Модуль среднегодового стока m, л/(с·км2)	Площадь водосборной поверхности бассейна F, км2	Рассчитанный среднегодовой расход воды в створе, Qj, м3/с
5	Тоора-Хем	12,25	2768	33,9
6	Ий	11,35	1031	11,7
7	Хамсара	12,35	4754	58,7
8	Сыстыг-Хем	8,16	4337	35,4
9	Сейба	30,62	898,1	27,5
10	Хут	29,11	1604	46,7

Библиографический список

1. Безруких, П. П. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П. П. Безруких, Ю. Д. Арбузов, Г. А. Борисов [и др.].; под Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 3(27), 2017 г., [160–178] 17 общ. ред. П. П. Безруких. – СПб.: Наука, 2002. – 314 с
2. Малинин Н.К. Экономика малой гидро-

энергетики за рубежом / Н.К. Малинин, М.Г. Тягунов // Гидротехническое строительство. – 1983. – №12. – С. 34–37.
3. Михайлов, Л. П. Малая гидроэнергетика / Л. П. Михайлов, Б. Н. Фельдман, Т. К. Марканова; под ред. Л. П. Михайлова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 184 с.
4. Авакян, А.Б. Водохранилища мира : научное издание / А. Б. Авакян, В. А. Шарапов [и др.] ; отв. ред.: Г. В. Воропаев, С. Л. Вендров . – Акад. наук СССР, Ин-т вод. пробл.: - М. : Наука, 1979. – 287 с
5. Григорьев С. В. Потенциальные энергоресурсы малых рек СССР. Труды научно-иссл. учреждений ГУ ГМС, серия IV. вып. 34. М.: Гндрометеоиздат, 1946.
6. Берковский, Б. М. Возобновляемые источники энергии на службе человека / Б. М.Берковский, В. А. Кузьминов. – М. : Наука, 1987. – 128 с.
7. Кенден К.В. Деривационные малые гидроэлектростанции для электроснабжения отдаленных населенных пунктов Республики Тыва / К.В. Кенден , А.Э. Монгуш // Вестник Тувинского государственного университета. Энергетика. – Кызыл, 2015. -Вып.16. С. 93-98.
8. Майны Ш.Б. Проблемы бесканальной прокладки трубопроводов в горных регионах (на примере республики Тыва) / Ш.Б. Майны. – Естественные и технические науки. 2014. № 7 (75). С. 114-118.
9. Сандан А.С. Влияние способов и режимов обработки керамзитопенобетона на его свойства / А.С. Сандан. – Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 3. С. 53-54.
10. Верстов В.В. Исследование технологических особенностей строительства полигонов твердых бытовых отходов на территориях складчатой структуры / В.В. Верстов, А.С. Кысыдак. – Вестник гражданских инженеров. 2007. № 3 (12). С. 32-39.

References

1. Bezrukikh, p. P. Resources and the effectiveness of the use of renewable energy sources in Russia / p. P. Bezrukikh, Yu. d. Arbuzov, G. A. Borisov [et al.].; under the Scientific journal of Russian research Institute of reclamation problems, № 3(27), 2017 [160-178] 17 General ed. by p. P. Bezrukikh. – SPb.: Science, 2002. - 314.
2. Malinin N. To. Economics of small hydropower abroad / N. To. Malinin, M. G. Tyagunov // Hydrotechnical construction. - 1983. - №12. - P. 34-37.
3. Mikhailov, L. P. Small hydro / L. P. Mikhailov, B. N. Feldman, K. T. Markarova; under editorship of L. P. Mikhailova. - Moscow: Energoatomizdat, 1989. - 184 p.
4. Avakian, A. B. Reservoirs of the world : scientific publication / A. B. Avakian and V. A. Sharapov, [et al.]; ed. ed: G. V. Voropaev, S. L. Vendrov . – Acad. of Sciences of the USSR, In-t water. Probl.:- M.: Science, 1979. - 287 p.
5. Grigoriev S. V. Potential energy resources of small rivers of the USSR. Proceedings of scientific research. institutions of GU HMS series IV. vol. 34. M: Gidrometeoizdat, 1946.
6. Berkovsky, B. M. renewable energy sources in the service of man / B. M. Berkovsky, V. Kuzminov. - Moscow: Science, 1987. - 128 p.
7. The small hydroelectric Power stations for power supply of the remote settlements of the Republic of Tuva / K. V. Kenden , A. E. Mongush / Vestnik of the Tuva state

University. Energy. - Kyzyl, 2015. -Vol.16. P. 93-98.
8. Lane S. B. problems of underground laying of pipelines in mountain regions (by the example of Republic of Tyva) / W. B. Lane. - Natural and technical Sciences. 2014. № 7 (75). P. 114-118.
9. Sandown A. S. Influence methods and modes of processing keramzitobetona its properties / A. S. Sandown. - Industrial and civil construction. 2009. No. 3. P. 53-54.
10. Verstov V. V. Research of technological peculiarities of the construction of solid waste landfills in the territories of the folded structures / V. V. Verstov, A. S. Kasyak. - Bulletin of civil engineers. 2007. № 3 (12). P. 32-39.

Кенден Кара-кыс Вадимовна, старший преподаватель кафедры общеинженерных дисциплин Тувинского государственного университета, г. Кызыл, e-mail.ru: Kuca08@mail.ru

Kenden Kara-Kys Vadimovna, senior lecturer, Department of General Engineering Disciplines, Tuva State University, Kyzyl, e-mail.ru: Kuca08@mail.ru

Дата поступления статьи в редакцию 27.03.19