

СВЯЗЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ОСАДКОВ, ВЫПАДАЮЩИХ В ТВЕРИ, С МЕТЕОФАКТОРАМИ

Ф.В. Качановский

Тверской государственной технической университет (г. Тверь)

© Качановский Ф.В., 2020

Аннотация. Проведен статистический анализ связей удельной электропроводности атмосферных осадков, выпавших в Твери в 1916–2019 годах, с показателем кислотности и количеством осадков, а также с температурой воздуха. Построены одно- и многофакторные регрессионные модели связей.

Ключевые слова: удельная электропроводность, кислотность, атмосферные осадки, температура воздуха, модель, корреляция, регрессия, факторы, тренд, сезонная компонента, показатель кислотности pH .

DOI: 10.46573/2658-7459-2020-3-69-76

Показатель кислотности и удельная электропроводность атмосферных осадков – важные характеристики состояния водной среды, служащие индикаторами антропогенного воздействия на нее. Интерес к ним, научный и практический, не нов и разнообразен. Существуют публикации на эту тему, например [1, 2, 3, 4].

Наблюдения за кислотностью осадков, выпадающих в Твери, проводятся лабораторией мониторинга окружающей среды Тверского центра по гидрометеорологии с 1990 года. Наблюдения за электропроводностью осадков эта лаборатория ведет с 2016 года. Срочные измерения обеих величин производятся одновременно, интервалы между измерениями изменяются от одних суток до двух декад. В течение четырех лет (2016–2019 годы) произведено 494 измерения (в среднем 10 измерений в месяц). Удельная электропроводность осадков измеряется в мкСм/см, показатель кислотности – безразмерная величина.

Временные последовательности срочных значений удельной электропроводности sw и pH , а также последовательности их среднемесячных значений $atcsw$ и $ampH$ подвергаются регулярному (ежегодному) статистическому анализу [3]. В статье излагаются результаты установления связей удельной электропроводности осадков с их кислотностью и количеством, а также с температурой воздуха. Исходя из предположения, что sw и pH (и, соответственно, $atcsw$ и $ampH$) – коррелированные случайные величины, рассмотрим прежде всего вопрос о выборе регрессионной модели, связывающей эти величины. Из множества регрессионных моделей взяты для сопоставления три традиционные модели простой регрессии: линейная (полиномиальная модель первого порядка), экспоненциальная и логарифмическая. Применительно к среднемесячным величинам $atcsw$ и $ampH$ уравнения названных моделей имеют вид (на 90 %-м доверительном уровне и соответствующих коэффициентах корреляции – 0,272486; 0,224415; 0,250820):

линейная:

$$atcsw = -10,0444 + 4,7351 \cdot ampH; \quad (1)$$

экспоненциальная:

$$atcsw = \exp(1,512 + 0,220317 \cdot ampH);$$

логарифмическая:

$$atcsw = -25,1055 + 24,1698 \cdot \ln(ampH).$$

Линии регрессии, соответствующие моделям, показаны на рис. 1. Все модели указывают на существование положительной связи между исследуемыми величинами: чем больше показатель кислотности $ampH$, тем больше электропроводность осадков $atcsw$. Линии регрессии расположены близко друг к другу. При этом экспоненциальная модель

имеет выпуклость вверх, а логарифмическая – вниз. Обе линии слабо искривлены, т. е. связь практически линейна.

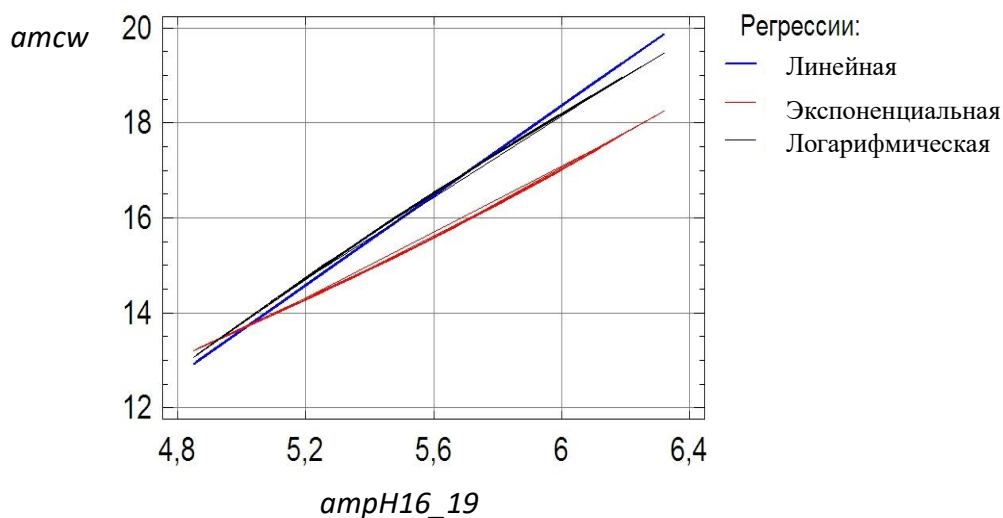


Рис. 1. Линии регрессии *атсв* на *атрН* для линейной, экспоненциальной и логарифмической моделей (2016–2019 годы)

Чтобы построить линии регрессии временной последовательности срочных значений удельной электропроводности *св* на показатель кислотности *рН*, были использованы те же модели, имеющие в этом случае вид (на 99 %-м доверительном уровне и соответствующих коэффициентах корреляции 0,20234; 0,20284; 0,17881):

линейная:

$$св = -5,39213 + 3,82533 \cdot рН; \quad (2)$$

экспоненциальная:

$$св = \exp(1,34434 + 0,220847 \cdot рН);$$

логарифмическая:

$$св = -16,0334 + 18,6746 \cdot \ln(рН).$$

Обращает на себя внимание тот факт, что коэффициенты корреляции всех моделей для срочных значений оказались несколько меньше, чем для среднемесячных. Это объясняется, по-видимому, влиянием случайных компонент последовательностей срочных значений.

Линии регрессии, соответствующие моделям последовательностей срочных значений, показаны на рис. 2. Малая кривизна линий срочных значений и их взаимное расположение сходны с подобными для среднемесячных значений, как это видно из сопоставления рис. 1 и 2, что подтверждает сделанный ранее вывод о существовании положительной связи кислотности осадков с их удельной электропроводностью.

св

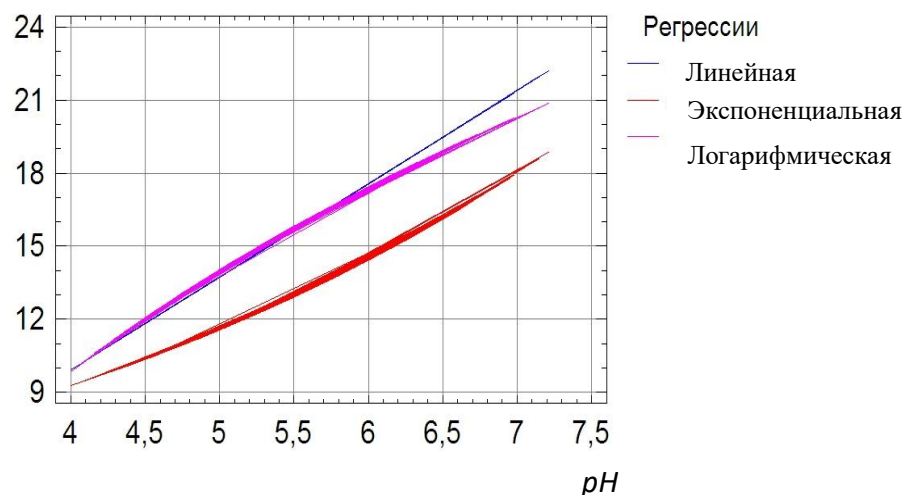


Рис. 2. Линии регрессии срочных значений sw на pH для линейной, экспоненциальной и логарифмической моделей (2016–2019 годы)

Сходство линий регрессии рассмотренных моделей и близость значений коэффициентов корреляции дает основание полагать, что в сравнительно коротком интервале времени наблюдений (2016–2019 годы) все три модели пригодны при оценке характера изучаемой связи как в случае срочных, так и в случае среднемесячных значений. Допущение линейности модели не является, строго говоря, необходимым, но оказывается удобным и привлекательным из-за своей простоты. При удлинении ряда наблюдений ситуация может измениться: могут обнаружиться преимущества какой-либо из моделей, или, наоборот, ее неприемлемость.

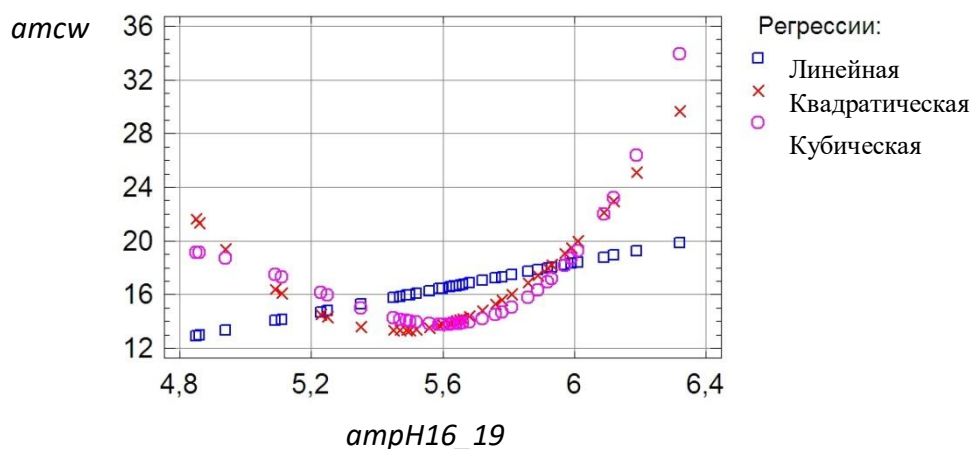


Рис. 3. Линии регрессии $atcsw$ на $atpH$ для линейной, квадратической и кубической моделей (2016–2019 годы)

Перспективной для регрессионного анализа представляется полиномиальная модель, как простая и одновременно гибкая. Проверим ее пригодность для рассматриваемого четырехлетнего отрезка времени, сопоставив уже рассмотренную модель первого порядка (линейную), а также квадратическую и кубическую. Для среднемесячных величин $atcsw$ и $atpH$ линейной модели соответствует уравнение (1), квадратической модели – уравнение

$$atcsw = 673,355 - 241,694 \cdot atpH + 22,127 \cdot atpH^2; \quad (3)$$

а кубической модели – уравнение

$$atcsw = -2717,15 + 1599,95 \cdot atpH - 310,159 \cdot atpH^2 + 19,9174 \cdot atpH^3. \quad (4)$$

Линии регрессии, отвечающие уравнениям (1), (3) и (4), изображены на рис. 3. Квадратическая и кубическая модели $atcsw$ на $atpH$ имеют выраженный нелинейный характер, контрастирующий с видом ранее рассмотренных моделей, и едва ли эти модели

(квадратическую и кубическую) можно считать пригодными для описания регрессии четырехлетних совокупностей amt_{sw} и amt_{pH} .

Рассмотрим совместно три полиномиальные модели регрессии совокупностей срочных значений sw и pH :

линейную (см. уравнение (2));

квадратическую:

$$sw = 219,403 - 77,393 \cdot pH + 7,25602 \cdot pH^2; \quad (5)$$

кубическую:

$$sw = 1208,64 - 619,706 \cdot pH + 105,308 \cdot pH^2 - 5,84898 \cdot pH^3. \quad (6)$$

Линии регрессии, соответствующие уравнениям (2), (5) и (6), изображены на рис. 4. Видно, что полиномиальные модели регрессии сохранили свой характер при переходе от среднемесячных значений amt_{sw} и amt_{pH} к срочным sw и pH .

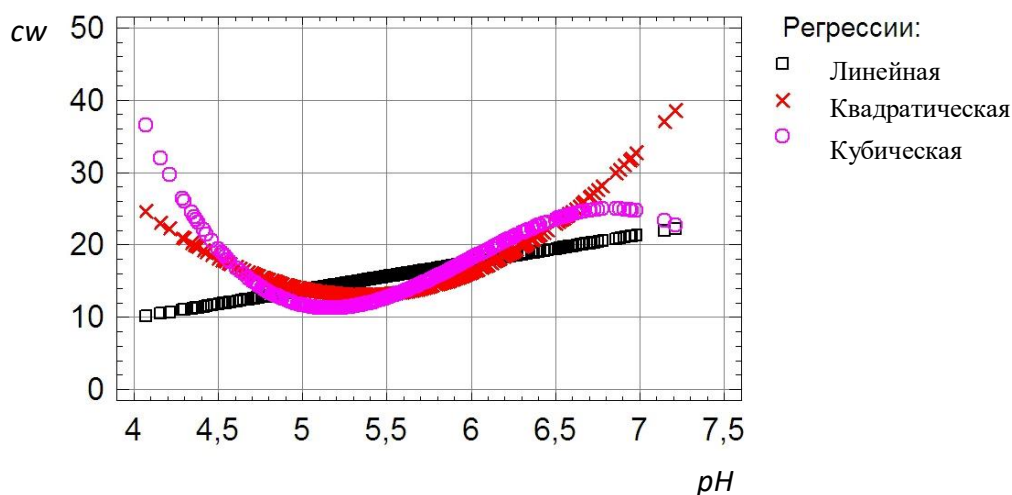


Рис. 4. Линии регрессии sw на pH для линейной, квадратической и кубической моделей (2016–2019)

Влияние температуры воздуха на электропроводность осадков оценивалось простой линейной регрессией совокупности срочных значений sw на срочные значения температур t , а также регрессией среднемесячных величин amt_{sw} на среднемесячные температуры amt . Уравнения регрессии имеют вид:

для срочных значений (коэффициент корреляции – 0,19183):

$$sw(t) = 14,4524 + 0,249723 \cdot t; \quad (7)$$

для среднемесячных значений (коэффициент корреляции – 0,256527):

$$amt_{sw}(t) = 15,5888 + 0,176449 \cdot amt. \quad (8)$$

Уравнения (7) и (8) свидетельствуют о существовании сравнительно слабой положительной связи электропроводности осадков с температурой воздуха, т. е. чем выше температура, тем больше электропроводность. Линия регрессии, соответствующая уравнению (8), показана на рис. 5.

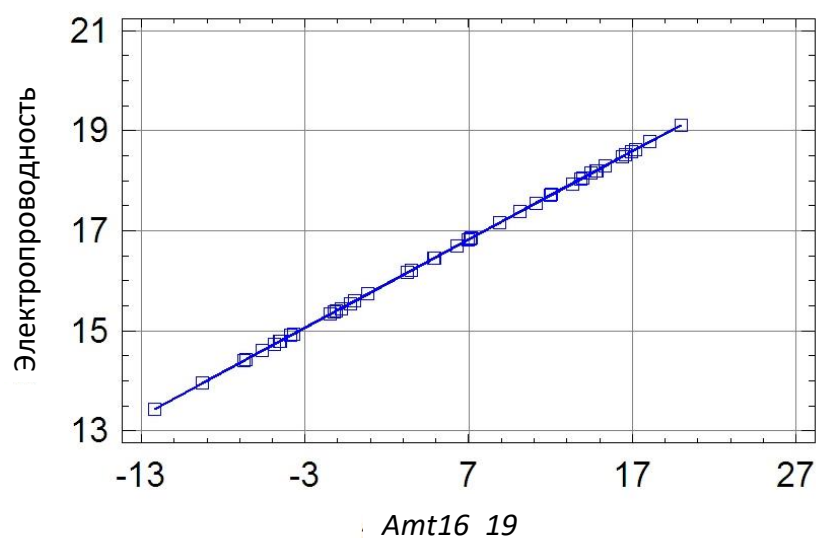


Рис. 5. Связь среднемесячных значений электропроводности $amcw$ и среднемесячных температур воздуха amt (2016–2019)

Установленные однофакторные зависимости электропроводности от кислотности осадков и температуры воздуха позволяют перейти к двухфакторной зависимости [5, 6], в которой отражается совокупное влияние на электропроводность и кислотности осадков и температуры воздуха. Уравнения регрессии в этом случае принимают вид:

для срочных значений:

$$cw(pH,t) = -2,91824 + 3,15328 \cdot pH + 0,199623 \cdot t; \quad (9)$$

для среднемесячных значений:

$$amcw(pH,t) = -3,73742 + 3,48997 \cdot ampH + 0,119535 \cdot amt. \quad (10)$$

Обнаружено, что в формуле (10) фактор $ampH$ статистически незначим на доверительном уровне 90 % и выше и, строго говоря, может быть удален из модели. В формуле (9) оба фактора статистически значимы на 99 %-м уровне доверия.

Продолжая расширять круг факторов влияния на электропроводность осадков, включим в рассмотрение срочное количество осадков pre и их месячную сумму $sumpre$, мм. Тогда получим следующие уравнения регрессии:

для срочных значений:

$$cw(pH,t,pre) = 5,15888 + 2,0501 \cdot pH + 0,288872 \cdot t - 0,492704 \cdot pre; \quad (11)$$

для среднемесячных значений:

$$amcw(pH,t,pre) = 8,02211 + 2,03118 \cdot ampH + 0,245923 \cdot amt - 0,0782389 \cdot sumpre. \quad (12)$$

Знаки членов уравнений (11) и (12) свидетельствуют о том, что с ростом значений показателя кислотности и температуры воздуха электропроводность осадков увеличивается, а с ростом количества осадков, наоборот, уменьшается (эффект разбавления). Здесь, как и в случае трехфакторного анализа, в формуле для среднемесячных величин (см. уравнение (12)) фактор $ampH$ статистически незначим (на доверительном уровне 90 % и выше) и может быть удален из модели, а в формуле для срочных величин (11) все три фактора статистически значимы на 99 %-м уровне доверия. Этот факт говорит о сравнительно «скромном» влиянии кислотности осадков на их удельную электропроводность.

Сравним внутригодовую динамику удельной электропроводности осадков $amcw$ и факторов $ampH$, amt , $sumpre$. Используем для этого сезонные компоненты временных рядов этих факторов [5]. Примем период сезонных колебаний всех факторов p равным 12 месяцам. В качестве оценки сезонной компоненты используем среднее \hat{s}_i отклонений значений $amcw$ от тренда \hat{tr}_i [3], т. е., положим [5], что для среднемесячной электропроводности

$$\hat{s}_i = \frac{1}{m+1} \cdot \sum_{l=0}^m (amcsw_{i+lp} - \hat{tr}_{i+lp}) \text{ для } i = 1, \dots, p;$$

где $m + 1 = 4$ – число (годовых) периодов в ряду наблюдений. Аналогично рассчитаем среднее \hat{s}_i отклонений от тренда значений pH , t и pre от их трендов. Годовой ход сезонных компонент (месячных индексов) показан на рис. 6.

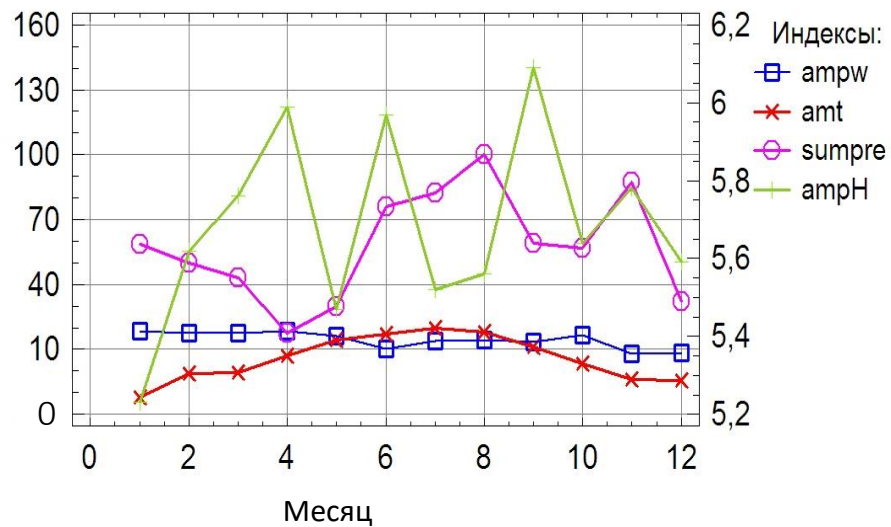


Рис. 6. Годовой ход сезонных компонент (месячных индексов) рядов $amcsw$, $ampH$, amt и $sumpre$ (2016–2019 годы)

Индексы удельной электропроводности $amcsw$, колеблясь с небольшой амплитудой, незначительно убывают от начала к концу года. Очевидная внутригодовая динамика температур воздуха amt не вызывает вопросов. На графике индексов осадков $sumpre$ обращают на себя внимание апрельский минимум и июльский максимум. График показателя кислотности осадков $ampH$ характеризуется чередованием локальных максимумов и минимумов.

ВЫВОДЫ

Установлено существование корреляционных связей удельной электропроводности осадков, выпадающих в Твери, с показателем кислотности pH , температурой воздуха и количеством выпадающих осадков.

Построены регрессионные одно-, двух- и трехфакторные модели связей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качество воды в Центральной Азии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ca_water_info.net/water_quality_in_ca/hydrochem1.htm (дата обращения: 14.04.2018).
2. Янченко Н.И. Особенности изменения величины pH и электропроводности снежного покрова в Братске // *Известия Томского политехнического университета. Химия и химические технологии*. 2014. Т. 325. № 3. С. 23–24.
3. Качановский, Ф. В. Электропроводность осадков, выпадающих в Твери // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство, электротехника и химические технологии»*. 2019. Вып. 3 (3). С. 65–71.
4. Голицын А.Н. Инженерная геоэкология. М.: Оникс, 2007. 202 с.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1999. 479 с.
6. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере / под ред. В.Э. Фигурнова. М.: ИНФРА-М, 1998. 528 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

КАЧАНОВСКИЙ Феликс Вячеславович – доцент кафедры гидравлики, теплотехники и гидропривода, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: felix.kachanovsky@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Качановский Ф.В. Связь электропроводности осадков, выпадающих в Твери, с метеофакторами // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 3 (7). С. 69–76.

ELECTRICAL SPECIFIC CONDUCTIVITY OF THE PRECIPITATION AND METEOROLOGICAL FACTORS IN TVER (CORRELATION ANALYSIS)

F.V. Kachanovsky

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. Correlation analysis had made of the precipitation's electrical specific conductivity and meteorological factors (atmospheric precipitation had fallen in Tver in 1916–2019 years). Regression models of the electrical specific conductivity upon meteorological factors were built.

Keywords: conductivity, acidity, acid rain, precipitation, model, time series, factors, trend, seasonal component, residuals, correlation, regression.

REFERENCES

1. Water quality in Central Asia [Electronic resource]. – Mode of access: [http://www.ca_water_info.net/water_quality_in_ca/hydrochem1.htm (date of accessed: 14.04.2018)].

2. Yanchenko N.I. Features of the change in the pH and electrical conductivity of the snow cover in Bratsk. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Himiya i himicheskie tekhnologii*. 2014. vol. 325. No. 3, pp. 23–24. (In Russian).
3. Kachanovskij F.V. Electrical conductivity of precipitation falling in Tver. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Stroitel'stvo, elektrotehnika i himicheskie tekhnologii»*. 2019. No. 3 (3), pp. 65–71. (In Russian).
4. Golicyn A.N. *Inzhenernaya geoekologiya [Engineering geoecology]*. M.: Oniks. 2007. 202 p.
5. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]*. M.: Vysshaya shkola, 1999. 479 p.
6. Tyurin Y.N., Makarov A.A. *Statisticheskij analiz dannyh na komp'yutere [Statistical analysis of computer data]* edited by V.E. Figurnova. M.: INFRA-M, 1998. 528 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

KACHANOVSKY Felix Vjacheslavovich – Associate Professor of the Department of Hydraulics, Heat Engineering and Hydraulic Drive, Tver State Technical University, 22 embankment Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: felix.kachanovsky@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Kachanovsky F.V. Electrical specific conductivity of the precipitation and meteorological factors in Tver (correlation analysis) // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 3 (7), pp. 69–76.