



Ю. С. ВЫТЧИКОВ
А. А. ЧУЛКОВ
В. А. ГОЛИКОВ

УТОЧНЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАТОПА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ ОТОПЛЕНИИ

AN UPDATED METHOD FOR HEATING CALCULATING IN BUILDINGS
WITH INTERMITTENT HEATING

Рассмотрена уточненная методика расчета натопа помещений зданий, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления. На основе проведенных исследований получены аналитические зависимости для определения энергозатрат при нагреве строительных ограждающих конструкций с учетом влияния порядка расположения теплоизоляционных и конструктивных слоев, а также изменения температуры при нагреве каждого слоя. Получены формулы для нахождения изменения температуры внутреннего воздуха при натопе помещений и внутренней поверхности ограждающих конструкций. На основе предложенной уточненной методики выполнен расчет натопа жилой комнаты загородного коттеджа, расположенного на территории Самарской области.

Ключевые слова: натоп помещения, теплоаккумулирующая способность, нестационарный теплообмен, температура внутреннего воздуха

An updated method of heating calculation of buildings operated in the conditions of intermittent heating is considered. On the basis of the conducted studies, analytical dependences were obtained for determining energy consumption during heating of building enclosing structures, taking into account the influence of the order of location of thermal insulation and structural layers, as well as temperature changes during heating of each layer. Formulas for finding the change in the temperature of the internal air during the heating of the premises and the internal surface of the enclosing structures are obtained. On the basis of the proposed refined methodology, the calculation of the heating of the living room of a country cottage located on the territory of the Samara region was performed.

Keywords: room temperature, heat storage capacity, non-stationary heat exchange, internal air temperature

Прерывистое отопление в настоящее время широко используется в зданиях индивидуальной застройки при периодическом пребывании в них людей (например в выходные дни), а также в производственных зданиях при односменной или двухсменной работе. Использование дежурного отопления с постоянной температурой воздуха в отапливаемых помещениях позволяет, как сказано в работах [1–4], существенно снизить расход тепловой энергии за отопительный период.

Особенность теплотехнического расчета строительных ограждающих конструкций ука-

занных выше зданий заключается в том, что процесс нестационарной теплопередачи протекает при изменяющейся температуре воздуха во время натопа помещений.

Решение сопряженной задачи нестационарного теплообмена аналитическими методами представляет значительные математические трудности. Поэтому в настоящее время для её реализации применяют численные методы, используемые в программных комплексах.

В работах [5–7] представлены результаты расчета процессов натопа помещений жилых и общественных зданий.

Однако на основе численных решений задач нестационарной теплопередачи не представляется возможным разработать инженерную методику теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий с прерывистым отоплением. В настоящее время в техническом регламенте по вводу зданий в эксплуатацию используется методика оценки теплоаккумулирующей способности зданий, разработанная Ю.В. Кононовичем и изложенная в монографии в 1986 г. [8].

С помощью указанной выше методики проведена оценка коэффициента теплоаккумулирующей способности здания и времени остывания помещения при аварийных ситуациях. В работе [9] проведена оценка влияния кратности воздухообмена на процесс остывания помещения при отключении системы теплоснабжения.

Анализ инженерной методики, изложенной в работе [8], позволил выявить следующие её недостатки:

1) при расчете количества теплоты, аккумулированной утепленными наружными и внутренними ограждениями, не учитывается влияние порядка расположения теплоизоляционного и конструктивных слоёв на аккумулирующую способность;

2) не учитывается изменение температуры для каждого слоя в процессе натопа помещения.

На основе исследований, представленных в работах [10, 11], предлагается выполнить теплотехнический расчет ограждающих конструкций в следующей последовательности:

1. Определяем показатель теплоаккумулирующей способности при натопе помещения:

$$\beta = \frac{Q_n}{3,6 \cdot Q_{ном}}, \text{ ч}, \quad (1)$$

где Q_n – энергозатраты на нагрев наружных и внутренних ограждающих конструкций, кДж.

$$Q_n = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \rho_i \cdot \delta_i \cdot F_i \cdot \Delta \tau_i + 0,5 \sum_{\gamma=1}^m c_\gamma \cdot \rho_\gamma \cdot \delta_\gamma \cdot F_\gamma \cdot \Delta \tau_\gamma, \text{ кДж}, \quad (2)$$

где m и n – количество теплоемких наружных и внутренних ограждений;

$c_i, \rho_i, \delta_i, F_i$ – удельная теплоемкость, кДж/кг·°C; плотность, кг/м³; толщина, м и площадь, м² наружных ограждений соответственно;

$\Delta \tau_i$ – изменение температуры i -го наружного ограждения, °C;

$c_\gamma, \rho_\gamma, \delta_\gamma, F_\gamma$ – удельная теплоемкость, кДж/кг·°C; плотность, кг/м³; толщина, м и площадь, м² внутренних ограждений соответственно;

Величина $\Delta \tau_i$ определяется, согласно [10], по формуле

$$\Delta \tau_i = t_{e2} - t_{e1} - \frac{t_{e2} - t_{e1}}{2R_0^{усл.}} \left(\frac{2}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^{i-1} R_i + \sum_{i=1}^i R_i \right), \text{ °C}, \quad (3)$$

где t_{e1}, t_{e2} – температуры внутреннего воздуха при работе дежурного отопления и на расчетном режиме соответственно, °C;

$R_0^{усл.}$ – сопротивление теплопередаче глянди ограждения, (м²·°C)/Вт;

$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$, (м²·°C)/Вт – термическое сопротивление i -го слоя;

α_e – коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C).

Изменение температуры внутренних ограждений рассчитывается по формуле

$$\Delta \tau_\gamma = t_{e2} - t_{e1}, \text{ °C}. \quad (4)$$

Теплопотери помещения $Q_{ном.}$ согласно [8], определяются по формуле

$$Q_{ном.} = \left[\sum_{i=1}^n k_i \cdot F_i + L \cdot c_e \cdot \rho_e \right] \cdot (t_{e2} - t_n), \text{ Дж}, \quad (5)$$

где $k_i = \frac{1}{R_{oi}^{усл.}}$, Вт/(м²·°C) – коэффициент теплопередачи i -го наружного ограждения;

L – расход инфильтрирующего воздуха, м³/с;

c_e, ρ_e – удельная теплоемкость, Дж/кг·°C и плотность, кг/м³ наружного воздуха соответственно.

2. Находим изменение температуры внутреннего воздуха $t_\theta(z)$ при натопе помещения:

$$\theta_e(z) = \frac{t_e(z) - t_e(0)}{t_{e2} - t_e(0)} = 1 - e^{-\frac{z}{\beta}}, \quad (6)$$

где $t_e(0)$ – температура внутреннего воздуха в начале процесса натопа, рассчитываемая, согласно [8], по формуле

$$t_e(0) = (t_{e1} + (1 - K_t) \cdot (t_{e2} - t_{e1})) \cdot \theta_e(z), \quad (7)$$

где $K_t = \frac{t_R - t_n}{t_{e2} - t_n}$.

Выражение для определения радиационной температуры t_R внутренних поверхностей имеет следующий вид:

$$t_R = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot F_i + \sum_{\gamma=1}^m \tau_\gamma \cdot F_\gamma}{\sum_{i=1}^n F_i + \sum_{\gamma=1}^m F_\gamma}, \text{ °C}, \quad (8)$$

где τ_i, τ_γ – температура внутренней поверхности наружных и внутренних ограждений соответственно, °C.

Температура внутренней поверхности наружных ограждений рассчитывается по формуле

$$\tau_i = t_{e2} - \frac{t_{e2} - t_n}{R_0^{усл.} \cdot \alpha_e}, \text{ °C}. \quad (9)$$

3. Определяем время нагрева наружных ограждающих конструкций, согласно [10]:

$$Z_n = 2 \cdot \frac{Q_n}{q_2} \cdot \frac{1 + 2\varphi}{1 + \varphi}, \text{ с}, \quad (10)$$

где $q_2 = \frac{t_{\theta_2} - t_n}{R_0^{всл}}$ – удельный тепловой поток через ограждение при расчетном режиме эксплуата-

ции, Вт/м²; $\varphi = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n R_i}$ – критерий граничных условий.

4. Определяем изменение температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций по формуле

$$\theta_{\theta_i}(Z) = \frac{\tau_{\theta_i}(Z) - \tau_{\theta_{li}}}{\tau_{\theta_{2i}} - \tau_{\theta_{li}}} = 0,95 \cdot \left(1 - e^{-\frac{Z}{Z_n - Z}} \right), \quad (11)$$

где $\tau_{\theta_{1i}}, \tau_{\theta_{2i}}$ значения температуры внутренней поверхности i -го ограждения при дежурном и расчетном режимах эксплуатации здания, °С.

5. Находим закон изменения удельных тепловых потоков в процессе натопа помещения для i -го наружного ограждения:

$$q_i = \alpha_{\theta_i} \cdot [t_{\theta_i}(Z) - \tau_{\theta_i}(Z)], \text{ Вт/м}^2. \quad (12)$$

6. Определяем среднее значение удельного теплового потока в процессе натопа помещения:

$$q_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i, \text{ Вт/м}^2. \quad (13)$$

7. По величине q_{cp} уточняем значение времени нагрева ограждающей конструкции, и расчет далее повторяется.

На примере расчета натопа комнаты, расположенной на втором этаже загородного коттеджа, рассмотрим использование приведенной выше методики теплотехнического расчета ограждающих конструкций.

План комнаты представлен на рис. 1, состав наружных и внутренних ограждающих конструкций – в таблице.

Расчет производился для строящегося коттеджа, расположенного в Самарской области.

В качестве исходных данных принимались следующие величины:

1. Температура внутреннего воздуха в жилой комнате при дежурном отоплении составила $t_{\theta_1} = 12$ °С, на расчетном режиме $t_{\theta_2} = 22$ °С.

2. Средняя температура наружного воздуха для наиболее холодной пятидневки $t_{n5}^{0,92} = -30$ °С.

3. Теплофизические характеристики используемых материалов взяты из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий и сооружений»

По результатам расчета коэффициент теплоаккумулирующей способности комнаты составил $\beta = 7,8$ ч.

На рис. 2 представлен график изменения температуры внутреннего воздуха и температуры на внутренней поверхности стены при натопе помещения.

Время нагрева наружной стены по результатам расчета составило $Z_n = 2,7$ ч. Из представленных на рис. 2 данных видно, что температура воздуха в комнате достигает значения $t_{\theta} = 20$ °С через 12 ч после начала натопа помеще-

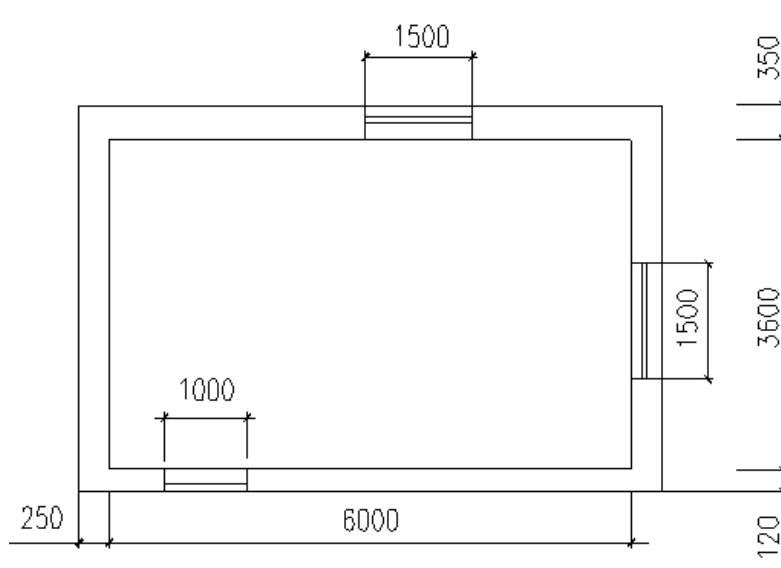


Рис. 1. Планировка помещения

**Теплофизические характеристики
ограждающих конструкций комнаты коттеджа**

Вид ограждающей конструкции	Площадь ограждения F_f , м ²	Толщина δ_f , м	Коэффициент теплопроводности λ_f , Вт/м ² °С	удельная теплоемкость c_f , Дж/(кг °С)	Плотность ρ_f , кг/м ³	Сопротивление теплопередаче R_{0f} , (м ² °С)/Вт
Наружные ограждения						
Наружные стены:	39,6					1,74
– гипсокартон	-	0,0125	0,19	0,84	800	
– пеноплекс	-	0,03	0,031	1,34	35	
– кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе	-	0,38	0,7	0,88	1800	
Чердачное перекрытие:	21,6					2,09
– гипсокартон	-	0,0125	0,19	0,84	800	
– пеноплекс	-	0,03	0,031	1,34	35	
– монолитный керамзитобетон (плита перекрытия)	-	0,2	0,24	0,84	800	
– цементно-песчаная стяжка	-	0,02	0,76	0,84	1800	
Оконные блоки с двухкамерными стеклопакетами	4,5	-	-	-	-	0,55
Внутренние ограждения						
Междуэтажное перекрытие:	21,6					
– паркет штучный	-	0,018	0,14	2,3	500	
– мастика	-	0,001	0,17	1,68	1000	
– цементно-песчаный раствор	-	0,04	0,76	0,84	1800	
– монолитный керамзитобетон	-	0,2	0,24	0,84	800	
– пенотерм	-	0,016	0,035	1,81	60	
Межкомнатная перегородка:	16					
– кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе	-	0,12	0,7	0,88	1800	
– штукатурка цементно-песчаным раствором	-	0,04	0,76	0,84	1800	
– входная дверь (деревянная)	2,0	0,04	0,14	2,3	500	

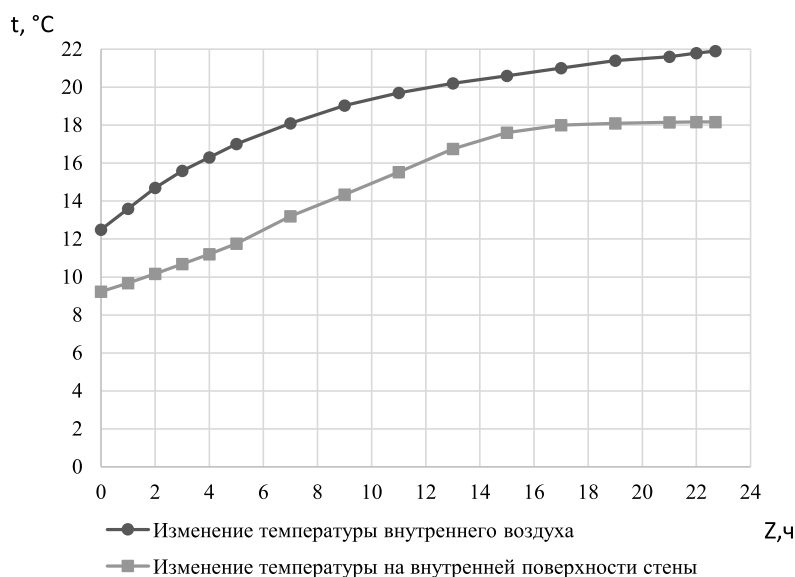


Рис. 2. График изменения температуры внутреннего воздуха и температуры на внутренней поверхности стены при натопе помещения

ния, температура на внутренней поверхности стены $\tau_g = 18^\circ\text{C}$ через 17 ч после начала натопа помещения.

Выводы. 1. Разработана уточненная методика натопа помещений в зданиях с прерывистым отоплением.

2. Представлены результаты расчета изменения температуры внутреннего воздуха и внутренней поверхности наружной стены в жилой комнате загородного коттеджа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимова Е.Ю. Энергоэффективность теплового режима здания при использовании отопительного режима прерывистого отопления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2012. № 38. С. 55–59.
2. Панферов В.И., Анисимова Е.Ю. Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2008. № 12. С. 30–37.
3. Береговой А.М., Грецишкин А.В., Береговой В.А. Энергоэкономичные и энергоактивные здания в архитектурно-строительном проектировании. Пенза: ПГУАС, 2012. 204 с.
4. Захаревич А.Э. Экономия тепловой энергии при прерывистом отоплении // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. № 1. С. 64–67.
5. Дацюк Т.А., Ивлев Ю.П., Пухкал В.А. Моделирование теплового режима жилых помещений при прерывистом отоплении // Современные проблемы науки и образования. М., 2014. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14698> (дата обращения: 25.04.2021).
6. Дацюк Т.А., Таурут В.Р. Моделирование микроклимата жилых помещений // Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ, 2012. № 4. С. 196–198.
7. Иванов В.В., Карасева Л.В. Процессы прогрева ограждающих конструкций после включения источника теплоты // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2013. № 4. С. 49–53.
8. Кононович Ю.В. Тепловой режим зданий массовой застройки. М.: Стройиздат, 1986. 157 с.
9. Вытчиков Ю.С., Титов В.Г., Власенкова Е.Н., Чулков А.А. Определение теплоаккумулирующей способности помещений жилых зданий // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей / под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара, 2019. С. 470–478.
10. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Сапарёв М.Е. Математическое моделирование процесса нестационарной теплопередачи через строительные ограждающие конструкции в условиях прерывистого отопления // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6–2 (48). С. 42–48.
11. Вытчиков Ю.С., Сапарев М.Е., Чулков А.А. Оптимизация выбора уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий, эксплуатируемых в ус-

ловиях прерывистого отопления // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С. 90–93.

REFERENCES

1. Anisimova E.Y. Energy efficiency of temperature conditions for a building at optimum intermittent central heating use. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura»* [Bulletin of SUSU. Series «Construction Engineering and Architecture»]. 2012, no. 38, pp. 55–59. (in Russian)
2. Panferov V.I., Anisimova E.Y. Analysis of the possibility of economy of thermal energy with interrupted heating mode. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura»* [Bulletin of SUSU. Series «Construction Engineering and Architecture»], 2008, no.12, pp. 30–37. (in Russian)
3. Beregovoy A.M., Grechishkin A.V., Beregovoy V.A. *Energoeconomichnye i energoaktivnye zdaniya v arhitekturno-stroitel'nom proektirovanii. Ychebnoe posobie* [Energy-efficient and energy-efficient buildings in architectural and construction design. Tutorial]. Penza, PGUAS, 2012. 204 p.
4. Zakharevich A.E. Saving thermal energy with intermittent heating. *Santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie* [Plumbing, heating, air conditioning], 2014, no. 1, pp. 64–67. (in Russian)
5. Datciuk T.A., Ivlev Y.P., Pukhkal V.A. Modeling of living room thermal conditions with intermittent heating in use. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014, no. 5. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14698> (Accessed 25 April 2021). (in Russian)
6. Datciuk T.A., Taurit V.R. Modeling the microclimate of residential premises. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2012, no. 4, pp. 196–198. (in Russian)
7. Ivanov V.V., Karaseva L.V. The processes of heating the source of enclosing structures after turning on the heat. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura* [Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture], 2013, no. 4, pp.49–53. (in Russian)
8. Kononovich Yu.V. *Teplovoy rezhim zdaniy massovoy zastroyki* [Thermal mode of buildings of mass building]. Moscow, 1986. 157 p.
9. Vytchikov Yu.S., Titov V.G., Vlasenkova E.N., Chulkov A.A. Determination of the heat storage capacity of residential buildings. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'nye tekhnologii. sbornik statej. Pod redakciej M.V. Shuvalova, A.A. Pishchuleva, A.K. Strelkova* [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies. Collection of articles edited by Shuvalov M.V., Pishchulev A.A., Strelkov A.K.]. Samara, SSTU, 2019, pp. 470–478. (in Russian)
10. Vytchikov Yu.S., Belyakov I.G., Saparev M.E. Mathematical simulation of nonstationary process of heat transfer through the building cladding structures in conditions of intermittent heating. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International research journal], 2016, no.6-2, pp.42–48. (in Russian)

11. Vytchikov Yu.S., Saparev M.E., Chulkov A.A. Optimization of choice of heat protection level of enclosing structures operated under conditions of intermittent heating. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering], 2017, no. 3, pp. 90-93. (in Russian)

Об авторах:

ВЫТЧИКОВ Юрий Серафимович

кандидат технических наук, доцент, профессор
кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: git.2008@mail.ru

ЧУЛКОВ Александр Анатольевич

инженер Центра энергосбережения в строительстве
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: ch_aleks01@mail.ru

ГОЛИКОВ Владислав Андреевич

аспирант
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: vladislavgol@rambler.ru

VYTCHIKOV Yuri S.

PhD of Engineering Science, associate Professor,
Professor of heat and gas supply and ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: git.2008@mail.ru

CHULKOV Alexander A.

Engineer of the center for energy saving in construction
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str, 244
E-mail: ch_aleks01@mail.ru

GOLIKOV Vladislav A.

Postgraduate student
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: vladislavgol@rambler.ru

Для цитирования: Выхчиков Ю.С., Чулков А.А., Голиков В.А. Уточненная методика расчета натопа в помещениях зданий при прерывистом отоплении // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 9–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.02.

For citation: Vytchikov Yu.S., Chulkov A.A., Golikov V.A. An Updated Method for Heating Calculating in Buildings with Intermittent Heating. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 9–14. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.02.