

ОЦЕНКА ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Б.Н. Одиназода

Филиал Национального исследовательского технологического университета (МИСиС) в г. Душанбе,
Таджикистан

В статье приводится обзорная информация об оценке виброакустических факторов на рабочих местах промышленных предприятий и причины их возникновения. Такая информация необходима для разработки мероприятия по защите от шума, инфразвука, ультразвука и вибрации, вследствие их распространенности на производстве.

Ключевые слова: промышленное предприятие, место для рабочих, факторы виброакустики, шум, вибрация, инфразвук, ультразвук, профессиональное заболевание.

АРЗЁБИИ ОМИЛҶОИ ЛАРЗИШСАДОЙ ДАР ҶОЙҶОИ КОРИИ КОРХОНАҶОИ САНОАТӢ ВА САБАБҶОИ ПАЙДОИШИ ОНҶО

Б.Н. Одиназода

Дар мақола маълумоти умумӣ оид ба арзёбии омилҳои ларзишсадоӣ дар ҷойҳои кори корхонаҳои саноатӣ ва сабабҳои пайдоиши онҳо оварда шудааст. Чунин маълумот барои таҳияи чорабиниҳо чиҳати ҳимоя аз гулгула, инфрасадо, ултрасадо ва ларзиш, ки дар истеҳсолот паҳн гардида, ба саломатии кормандони соҳаҳои гуногуни саноат таъсири манфӣ мерасонад, зарур мебошад.

Калидвожаҳо: корхонаи саноатӣ, ҷойи кори, омилҳои ларзишсадоӣ, гулгула, ларзиш, инфрасадо, ултрасадо, бемориҳои касбӣ.

ASSESSMENT OF VIBROACOUSTIC FACTORS IN INDUSTRIAL WORKPLACES AND THEIR CAUSES B.N. Odinazoda

This article provides an overview of the assessment of vibroacoustic factors in industrial workplaces and their causes. This information is essential for developing measures to protect against noise, infrasound, ultrasound, and vibration, due to their prevalence in industrial settings and their detrimental impact on the health of workers in various industries.

Keywords: industrial enterprise, workplace, vibroacoustic factors, noise, vibration, infrasound, ultrasound, occupational disease.

В условиях развития промышленности и появлении новых производств в особенности в горнорудной и металлургической промышленности, оценка виброакустических факторов, включающие вибрацию, шум, инфразвук и ультразвук, воздействие которых на работающих приводит к различным профессиональным заболеваниям, становится актуальной проблемой.

Следует отметить, что шум, инфразвук, ультразвук и вибрация, как механическая колебательная система, имеют одинаковую природу происхождения и взаимосвязаны между собой (рис. 1) [1, 15].



Рисунок. 1– Виброакустические факторы

Виброакустические факторы часто встречаются на рабочих местах промышленных предприятий горнодобывающей, металлургической, машиностроительной промышленности, а также на транспорте и ряде других отраслей [2].

Анализ условий труда и оценки виброакустических факторов на промышленных предприятиях показали, что на долю промышленности приходится более 54% количества рабочих мест с неблагоприятными условиями труда и около 42% приходится на виброакустические факторы [3].

Установлено, при длительном воздействии виброакустических факторов, превышающих гигиенические нормы, у работников различных профессий наблюдаются заболевания органов слуха, опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой системы, которые снижают профессиональную трудоспособность рабочих в мире более чем на 53% [4], и, в конечном итоге, приводит к нейросенсорной тугоухости, являющейся профессиональным заболеванием слухового органа человека [5].

Виброакустические факторы производственной среды характеризуются физическими и гигиеническими показателями. Для их оценки рассмотрим каждый из этих факторов в отдельности.

Производственный шум. Производственным шумом называют беспорядочное комбинирование звуков с различной интенсивностью и частотой, а звук характеризуется как колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в твердой, жидкой и газообразной средах. С точки зрения физиологии, шум определяется как ощущение, воспринимаемое органами слуха звуковых волн в разных диапазонах частот 16 - 20 кГц.

На нижнем рисунке приведен алгоритм оценки параметров производственного шума в зависимости от показателей.

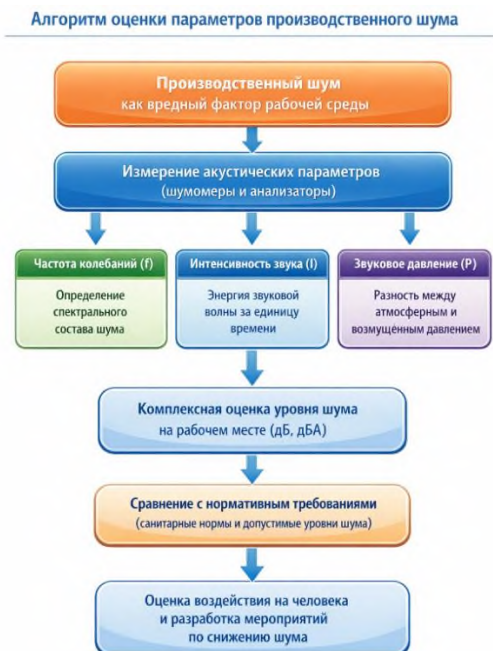


Рисунок 2 – Алгоритм оценки параметров производственного шума

Ниже приведено схематичное образование звукового давления, распространяющееся в окружающую среду.

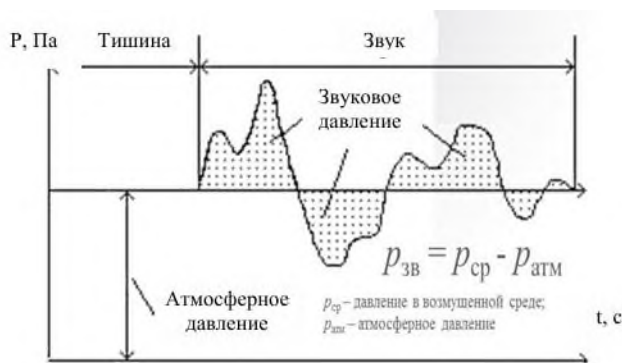


Рисунок 3 – Схема образования и распространения звукового давления

В результате звуковых колебаний частиц среды образуется звуковое давление в виде переменного давления, при распространении которых происходит перенос энергии, определяемой как интенсивность звука

$$I = \frac{P^2}{\rho C}, \tag{1}$$

где I – интенсивность звука, Вт/м²;
 P – звуковое давление, Па;
 ρ – плотность среды, кг/м³;
 C – скорость звука в среде, м/с.

С физиологической точки зрения различаемое ухом человека минимальное звуковое давление P_0 и интенсивность звука I_0 , называются порогом слышимости, показанной на рис. 3.

Как видно, из рис. 4. между порогом слышимости и болевым порогом расположена область слухового восприятия человека.

Учитывая физиологические особенности человека, при помощи абсолютных значений звукового давления и интенсивности звука невозможно определить воздействие шума на его организм, поэтому для оценки условий труда на производстве применяют логарифмические значения этих величин к значениям, равным порогу слышимости, удобной также для измерения.

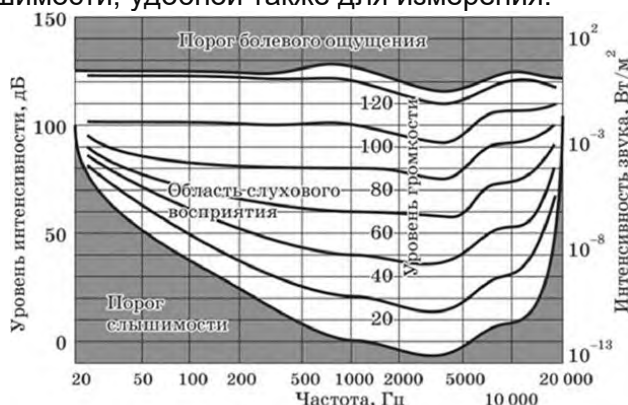


Рисунок 4 – Диаграмма слухового восприятия человеком звука

Поэтому для оценки шума на рабочих местах промышленных предприятий величина измерения звукового давления и интенсивности звука принят децибел (дБ), диапазон восприятия человеком звуков слуховым органом должен быть равен 0 – 140 дБ (рис. 4).

Поэтому уровень интенсивности звука и звукового давления определяется по следующим формулам:

$$L_I = 10 \lg(I / I_0), \tag{2}$$

$$L_p = 20 \lg(P / P_0), \tag{3}$$

где I и P – соответственно интенсивность звука, Вт/м² и звуковое давление, Па в данной точке; I_0 и P_0 – соответственно пороговое значение интенсивности звука и звукового давления, соответствующее порогу слышимости, равные 10⁻¹² Вт/м² и 2·10⁻⁵ Па, соответствующие порогу слышимости при частоте 1000 Гц.

А также имеется связь между уровнями интенсивности и звукового давления, которая определяется по формуле:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \left[\frac{P^2 \rho_0 C_0}{P_0^2 \rho C} \right] = 10 \lg \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) + 10 \lg \left[\frac{\rho_0 C_0}{\rho C} \right] = L_p + 10 \lg \left[\frac{\rho_0 C_0}{\rho C} \right], \tag{4}$$

где ρ_0 и C_0 – соответственно плотность среды и скорость звука при нормальных атмосферных условиях;

ρ и C – соответственно плотность среды и скорость звука в условиях воздействия звука и измерения ее значения.

Для расчета уровня шума обычно используют величину интенсивности звука, чтобы оценить воздействие шума на организм человека. Применяют уровень звукового давления.

Классификация шума по частоте, характеру спектра и временным характеристикам приведена в табл. 1.

Таблица 1– Основные характеристики шума

Частота	Низкочастотные (ниже 400Гц)	Среднечастотные (400-1000Гц)	Высокочастотные (выше 100Гц)
Характер спектра	Широкополосный (ширина спектра более одной октавы)		Тональный (в спектре имеются выраженные дискретные тона)
Временные характеристики	Постоянный		Непостоянный (колеблющийся во времени, прерывистый, импульсный).

Оценка условий труда на промышленных предприятиях показала, что наряду с другими опасными и вредными производственными факторами наиболее распространенными негативными производственными факторами являются виброакустические факторы, включая шум и вибрацию [3, 14]. Потому что в условиях шума и вибрации, специфически влияющих на организм человека, трудится каждый третий работник предприятий. На производственных участках и рабочих местах установлено большое количество различного технологического оборудования, которое, являясь

источником повышенного уровня шума и вибрации, оказывает негативное влияние на здоровье работающих [14].

Нормирование производственного шума. Нормирование шума определяется предельно допустимым уровнем звука (ПДУ). Методы нормирования шума приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Методы нормирования шума

Методы нормирования	По предельному спектру для постоянных шумов, дБ	ПДУ в октавных полосах частот 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц,
	По интенсивности, временным характеристикам и продолжительности воздействия для непостоянных шумов, дБА	Эквивалентный уровень звука

Следует отметить, что при нормировании шума по предельному спектру измерение проводится на временной характеристике шумомера «медленно», а эквивалентный уровень звука измеряется по шкале «А» шумомера. При этом результаты измерения должны соответствовать эквивалентному уровню звука времени 8-часового рабочего дня работающих.

Физические и гигиенические оценки инфразвука и ультразвука. Инфразвук и ультразвук относятся к неслышимым звукам, т.е. колебания с частотой ниже 20 Гц и выше 20 кГц. В этом частотном диапазоне человеческое ухо не способно воспринимать инфразвук и ультразвук, как шум при диапазоне частот 16 - 20 кГц.

Инфразвук имеет большую длину волны при малой частоте колебания, что является препятствием для распространения на большие расстояния без потери звука, так как слабо гасится воздухом [6]. Поэтому действия инфразвука на организм человека при уровне 110 - 150 дБ вызывает неприятное ощущение, которое приводит к нарушению вестибулярного аппарата, нервной, дыхательной и сердечно-сосудистой системы [13]. Эти особенности инфразвука не позволяют эффективно бороться с ним традиционными методами звукоизоляции и звукопоглощения. Исходя из этого при воздействии инфразвука с уровнями, превышающими ПДУ в производственных условиях, для работающих вводят 20-минутные перерывы через каждые 2 ч работы.

Высокие уровни ультразвука также оказывают неблагоприятное влияние на организм человека, вызывая нарушение в нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной системах. При этом отмечают развитие профессионального заболевания от воздействия ультразвука, называемого полинейропатия верхних конечностей [2]. Кроме того, как отмечают авторы [7], 95% случаев воздействия ультразвука связано с онемением в кистях рук и предплечьях [12] и 45% с общей болью.

Основными источниками инфразвука на производстве являются компрессорные и насосные станции, авиационные двигатели, турбины для выработки энергии и металлургические процессы.

Ультразвук можно наблюдать в промышленных предприятиях и медицинской отрасли. На промышленных предприятиях основными источниками вредного воздействия ультразвука являются технологические процессы такие как сварки, пайки, очистки, обеззараживание, механическая и термическая обработка материалов, а также медицинское ультразвуковое оборудование для диагностики и лечения людей.

Нормирование инфразвука и ультразвука. Постоянно действующий инфразвук нормируется уровнем звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8, 16, 31,5 Гц, а нормируемым параметром непостоянного инфразвука является общий уровень звукового давления, определяемый по шкале "линейная" шумомера в дБ.

Что касается ультразвука, нормируемым параметром низкочастотного ультразвука, распространяющегося воздушным путем, являются уровни звукового давления, дБ в треть октавных полосах со среднегеометрическими частотами 12,5; 16; 20; 25; 31,5-100 кГц, а для высокочастотного ультразвука, воздействующего на организм человека контактным путем, значение вибросторожности в м/с или его логарифмический уровень в дБ.

Общий уровень звукового давления постоянно действующего инфразвука и допустимый уровень низкочастотного ультразвука не должны превышать 110 дБ.

Физические и гигиенические основы оценки вибрации. Вибрацией называется колебательный процесс в механических системах, причинами возбуждения которой являются неуравновешенные силовые воздействия при возвратно-поступательном, вращательном движении тел, а также соударение деталей машин и механизмов. Источниками вибрации являются производственные оборудования на промышленных предприятиях, различные виды транспорта, а также ручные механизированные инструменты.

Для оценки вибрации применяют следующие показатели:

- амплитуду виброперемещения, X_t , м;
- колебательную скорость, или виброскорость, a_m , м/с;
- ускорение колебаний, или виброускорение, V_m , м/с²;
- период колебаний, T , с;
- частоту колебаний, f , гц.

На промышленных предприятиях для оценки вибрации, как и с шумом, применяется логарифмическая шкала приведенных величин [8].

Уровень виброскорости определяется по формуле:

$$L_v = 201g \frac{V}{V_0}, \quad (5)$$

где L_v -уровень виброскорости, дБ;

V - колебательная скорость, м/с;

V_0 - пороговое значение колебательной скорости, равное $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с.

Уровень виброускорения по аналогии с виброскоростью имеет следующий вид:

$$L_a = 201g \frac{a}{a_0}, \quad (6)$$

где L_a - уровень виброускорения, дБ;

a - ускорение колебаний, м/с²;

a_0 - пороговое значение ускорения колебаний, равное $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

Классификация вибрации.

На рисунке 5 приведена классификация вибрации по пяти признакам [1].

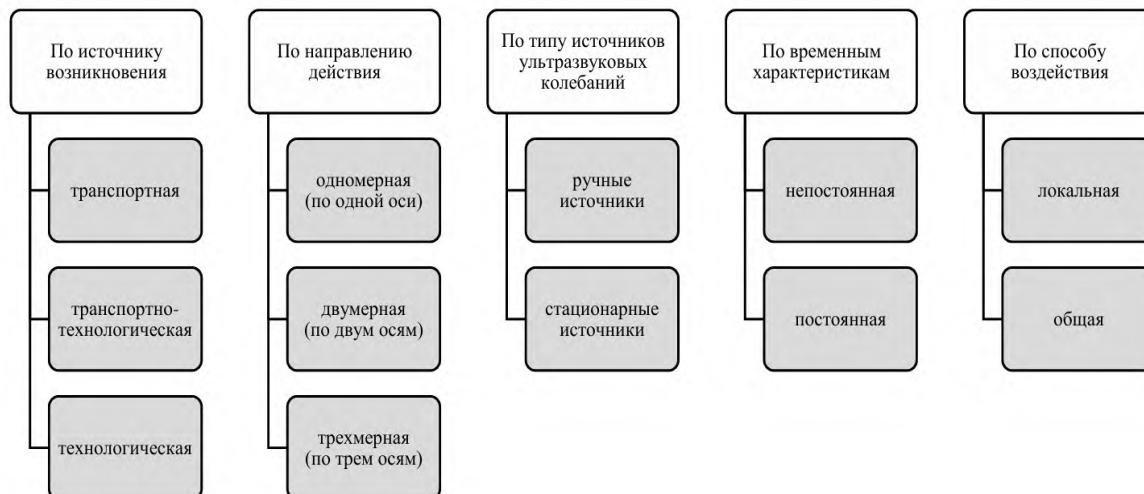


Рисунок 5 – Классификация вибрации

Воздействие вибрации на организм человека.

Известно, что на нервную систему человека оказывает плохое влияние - вибрация, однако при долгом воздействии, превышающем гигиенические нормы, может привести к вибрационному заболеванию, по-другому называется «болезнь белых пальцев», признаки и стадии ее возникновения приведены на рис. 6 [9].



Рисунок 6 – Последствия вибрационной болезни

Характер воздействия вибрации на организм человека зависит от видов вибрации. При воздействии локальной вибрации, когда работающий контактирует с вибрирующими поверхностями ручного инструмента, обрабатываемыми деталями, органами управления машин и механизмов, появляются слабость и судороги в руках, головные боли, головокружения и боли в области сердца [13], приводящие к развитию вибрационной болезни с выраженным ангиодистоническим синдромом [10].

При воздействии высоких уровней общей вибрации на работающих нарушается сон, повышается давление, появляется головокружение с потерей равновесия и звон в ушах, вследствие которых развивается вибрационная болезнь с нарушением периферического и центрального кровообращения и поражением костно-мышечной системы [11, 13].

Нормирование вибрации. Нормирование вибрации как для постоянной, так и непостоянной вибрации определяется в зависимости от продолжительности воздействия на работающего в течение рабочего дня и осуществляется эквивалентным скорректированным уровнем виброускорения в частотных диапазонах, приведенное в табл. 3.

Таблица 3 – Нормирование общей и локальной вибрации

Эквивалентный скорректированный уровень виброускорения, дБ	Общая вибрация	Локальная вибрация
		- в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц; - в третьоктавных полосах со среднегеометрическими частотами: 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80 Гц.

Аппаратура для измерения виброакустических факторов

Чтобы определять виброакустические факторы на рабочих местах в производственных помещениях, надо использовать измерительные приборы: шумомеры или дозиметры для измерения шума и для измерения вибрации: виброметры и виброанализаторы.

Таким образом, изучение физических и гигиенических аспектов воздействия вредных и опасных виброакустических факторов на рабочих местах промышленных предприятий позволяет в дальнейшем разработать мероприятия по защите от шума, инфразвука, ультразвука и вибрации, вследствие их распространенности на производстве и оказывающие вредное влияние на здоровье работников различных отраслей промышленности.

Рецензент: Гулаҳмадов Х.Ш. – д.т.н., доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология» ЛТЭТУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Абдрахманов Н.Х., Федосов А.В., Хамитова А.Н. и др. Основные аспекты оценки виброакустических факторов / Н.Х. Абдрахманов, А.В. Федосов, А.Н. Хамитова и др // Безопасность техногенных и природных систем. – 2021. № 3. С. 13–20.
2. Хоменко А.О., Якшина Н.В., Мушников В.С. и др. Влияние виброакустических факторов на безопасность и здоровье работников промышленных предприятий / А.О. Хоменко, Н.В. Якшина, В.С. Мушников, и др // Экономика труда. – 2022. – Том 9. – № 12. – С. 2175-2196.
3. Одиназода Б.Н, Хакдодов А.М., Хакдод М.М. Анализ условий труда и оценки виброакустических факторов в промышленности. / Б.Н. Одиназода, А.М. Хакдодов, М.М. Хакдод // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2024. №3(58). С. 51-62.
4. Измеров Н.Ф., Бухтияров И.В., Денисов Э.И. Оценка профессиональных рисков для здоровья в системе доказательной медицины. / Н.Ф. Измеров, И.В. Бухтияров, Э.И. Денисов // Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. – 2016. №1. С. 14–20,
5. Филиппов Н., Агишева А. Р., Киреев И. Р. и др. Повышение безопасности производства путем применения сетевых интеллектуальных систем. /Н. Филиппов, А.Р. Агишева, И.Р. Киреев // Информационные технологии. Проблемы и решения: материалы междунар. науч.-практ. конф. — Уфа, – 2017. — № 1 (4). — С. 109-118.
6. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Куралесин Н.А., Овакимов В.Г. Инфразвук как фактор риска здоровья человека. / Н.Ф. Измеров, Г.А. Суворов, Н.А. Куралесин, В.Г. Овакимов. – Воронеж: Истоки, 1998 г., 276 с.
7. Гидаева М.О., Ямщикова А.В., Флейшман А.Н. Клинико-электроэнцефалографическое исследование у шахтеров с профессиональной полинейропатией верхних конечностей. / М.О. Гидаева, А.В. Ямщикова, А.Н. Флейшман. – Гигиена и санитария. – 2019. Т. – 98. № 7. С. 713–717.
8. Гаскарова, Ф.Н. Проблема реальной эффективности средств индивидуальной защиты от шума / Ф.Н. Гаскарова, Г.М. Шарифутдинова // Актуальные проблемы науки и техники: сб. науч. тр. — Уфа, 2017. — С.81-83.
9. Вадулина, Н.В. Профессиональная заболеваемость в России: проблемы и решения / Н.В. Вадулина, М.А. Галлямов, С.М. Девятова // Безопасность техногенных и природных систем: [сайт]. — 2020. — № 3. — С. 7-15

10. Николенко В.Ю. От локальной вибрации до вибрационной болезни / В. Ю. Николенко, Н.Д. Ласткова // Международный неврологический журнал. – 2011. – № 1(39). – С. 131–139.
11. Ассоциация врачей и специалистов медицины труда. Вибрационная болезнь: клинические рекомендации. — М., 2021. — 134 с.
12. Абдрахманов Н.Х. Основные аспекты оценки виброакустических факторов / Н.Х. Абдрахманов, А.В. Федосов, А.Н. Хамитова [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. – 2021. – № 3. – С. 13-22. – DOI 10.23947/2541-9129-2021-3-13-22. – EDN EVQQRG.
13. А.О. Хоменко Влияние виброакустических факторов на безопасность и здоровье работников промышленных предприятий / А.О. Хоменко, Н.В. Якшина, В.С. Мушников [и др.] // Экономика труда. – 2022. – Т. 9, № 12. – С. 2175-2196. – DOI 10.18334/et.9.12.116410. – EDN PRCIHN.
14. Ширванов, Р.Б. К вопросу оценки уровня шумовых и вибрационных воздействий на работников промышленных предприятий Республики Казахстан / Р.Б. Ширванов, И.К. Жумагалиев // Безопасность техногенных и природных систем. – 2023. – Т. 7, № 2. – С. 47-57. – DOI 10.23947/2541-9129-2023-7-2-47-57. – EDN CMEVLO.
15. Азимов, Д.С. Микроклимат учебных помещений и их влияние на организм человека / Д. С. Азимов, С. Ж. Иброхимов // Политехнический вестник. Серия: Техника и общество. – 2024. – № 2(6). – С. 14-18. – EDN CNEUYR.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОР-INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Одиназода Бозорали Неъмат	Одиназода Бозорали Немат	Odinazoda Bozorali Ne'mat
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Ph.D., associate professor
Филиали Донишгоҳи миллии илм ва технология (ДМТваТ) дар Душанбе, Тоҷикистон	Филиал Национального исследовательского технологического университета (МИСиС) в г. Душанбе, Таджикистан	Branch of the National University of Science and Technology (MISA) in Dushanbe, Tajikistan
E-mail: odinaev_cdo@mail.ru .		
ORCID ID: 0009-0004-3183-9746		