



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 674:691.11:694.14

# Влияние древесиноведческих и технологических факторов на прочность зубчатого соединения в клееных конструкциях

**А.А. Титунин<sup>1</sup>, А.В. Подъячев<sup>2</sup>, С.В. Цыбакин<sup>1</sup>, Ю.Ю. Дубровина<sup>1</sup>**

**Андрей Александрович Титунин, Сергей Валерьевич Цыбакин, Юлия Юрьевна Дубровина**

<sup>1</sup>Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Кострома, Российская Федерация  
*titunin62@mail.ru; sv44kostroma@yandex.ru; dubrovinayy@mail.ru*

**Алексей Викторович Подъячев**

<sup>2</sup>Костромской государственный университет, Кострома, Российская Федерация  
*alvip@yandex.ru*



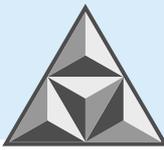
*Представлены результаты оценки качества зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе заготовок в производстве деревянных клееных конструкций. В ходе исследований образцов, отобранных случайным образом в производственных условиях при изготовлении деревянных клееных конструкций из древесины хвойных пород, определено напряжение при изгибе с приложением нагрузки в третях пролета на пласт. Применение такой схемы нагружения позволило создать в расчетной зоне деформацию чистого изгиба. 53.3% образцов имели максимальные напряжения при изгибе, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 20850–2014. «Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия». Среднее значение разрушающего напряжения при изгибе в зубчатом клеевом соединении составило 19.8 МПа, а коэффициент вариации – 8.9%. По результатам исследований установлено, что на прочность зубчатого клеевого соединения существенное влияние оказывают равномерность нанесения клея на поверхность шипов и наличие пороков в месте нарезки шипов и вблизи их. С учетом этих факторов, по мнению авторов статьи и других российских ученых, можно также прогнозировать малую прочность при статическом изгибе. Устранение указанных недостатков достигается путем замены клеенаносящих гребенок, регулирования частоты контрольных мероприятий в ходе технологического процесса изготовления деревянных клееных конструкций.*

**Ключевые слова:** деревянные клееные конструкции, деревянное домостроение, зубчатое клеевое соединение, прочность при статическом изгибе

**Для цитирования:**

Титунин А.А., Подъячев А.В., Цыбакин С.В., Дубровина Ю.Ю. Влияние древесиноведческих и технологических факторов на прочность зубчатого соединения в клееных конструкциях // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 8-17.

URL: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2\\_2023](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023)



SCIENTIFIC ARTICLE

# Influence of wood and technological factors on the strength of the finger joint in laminated constructions

**A.A. Titunin<sup>1</sup>, A.V. Podyachev<sup>2</sup>, S.V. Tsybakin<sup>1</sup>, Yu.Yu. Dubrovina<sup>1</sup>**

**Andrey A. Titunin, Sergey V. Tsybakin, Yulia Yu. Dubrovina**

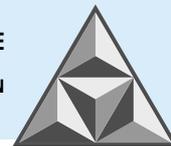
<sup>1</sup>Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russia

*titunin62@mail.ru; sv44kostroma@yandex.ru; dubrovinayy@mail.ru*

**Alexey V. Podyachev**

<sup>2</sup>Kostroma State University, Kostroma, Russia

*alvip@yandex.ru*



*The paper presents the results of finger joint quality assessment at the static bending in the production of wooden laminated structures. We selected the softwood samples randomly. This study concerns with detecting of bending stress with load application in thirds of the plate span. This loading scheme allows us to make pure bending deformation for the area under study. 53.3% of the selected samples had the values of maximum bending stress satisfying the regulatory requirements. The average value of the destructive bending stress in the finger joint was 19.8 MPa, the coefficient of variation - 8.9%. According to the study results, surface defects and the glue application uniformity on surface of the joint significantly affected the strength of finger joints. This explains the insufficient adhesive strength in the place of finger joint and, as a consequence, low strength at static bending. Therefore, it is necessary to replace glue-bearing applicators, and control the technological process of wooden laminated structures manufacturing regularly.*

**Keywords:** wooden laminated constructions, wooden housing construction, finger joint, static bending strength

**For citation:**

Titunin, A.A., Podyachev, A.V., Tsybakin, S.V. & Dubrovina, Yu.Yu. (2023) Influence of wood and technological factors on the strength of the finger joint in laminated constructions, *Smart Composite in Construction*, 4(2), pp. 8-17 [online]. Available at: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2\\_2023](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023)



## ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития строительного комплекса характеризуется широким применением деревянных клееных конструкций (ДКК) при возведении различных зданий и сооружений, а также объектов деревянного домостроения. При сохранении положительных природных свойств древесины в клееных конструкциях отсутствует ряд дефектов, снижающих прочностные показатели готовых деталей. Важно, что ДКК получают путем склеивания сухой древесины (влажность не превышает 10-12%), поэтому в процессе эксплуатации готовый материал обладает формоустойчивостью.

Деревянные клееные конструкции начали применяться в строительстве зданий и сооружений в 30-40-х годах XX столетия. За прошедшие 80 лет накоплен большой опыт проектирования, производства, монтажа и эксплуатации ДКК. Отдельно следует отметить научные исследования и вклад в разработку нормативных документов, рабочих чертежей конструкций и проектов уникальных зданий с применением ДКК, выполненных в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ЦНИИ-Промзданий, ЦНИИЭПсельстрой, ЦНИИМОД, ЦНИИЭП им. Б.С. Мезенцева, МГСУ, СПбГАСУ и других научных и профильных образовательных организациях.

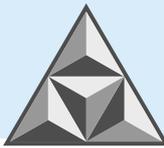
В настоящее время на протяжении нескольких лет, по словам директора по региональному развитию и PR Ассоциации деревянного домостроения Максима Молчанова, наблюдается устойчивый тренд развития деревянного домостроения [1]. С 2016 г. зафиксирован рост ввода в эксплуатацию малоэтажных домов. В 2021 г., впервые с 2009 г., строительство таких домов заняло лидирующие позиции по объемам и доле в общем жилищном строительстве России. В марте 2022 г. доля деревянного домостроения в общем объеме малоэтажного строительства вплотную приблизилась к отметке 40%. Это связано с использованием каркасных, каркасно-панельных и панельных технологий, где роль ДКК трудно переоценить [1].

Широкое применение ДКК в строительстве во многом объясняется с позиции постоянного совершенствования технологии изготовления и обеспечения требований нормативной документации. При этом, как отмечают многие специалисты, для различных вариантов технологии производства ДКК характерна общность: при их изготовлении нет необходимости использовать исключительно высококачественное сырье [2]. Получение многослойных клееных конструкций возможно при использовании пиловочного сырья средних диаметров, что весьма актуально ввиду значительного сокращения качественных крупно-размерных пиловочных бревен в промышленно-освоенных районах [2-7]. Накопленный отечественный и зарубежный опыт применения ДКК показал, что по сравнению с традиционными решениями они имеют значительные преимущества: металлоемкость зданий снижается втрое, масса – в 2-3 раза, трудоемкость монтажа – до 2.5 раз [8].

Для сохранения существующих позиций и увеличения темпов развития деревянного домостроения в России важным направлением является обеспечение качества конструкций на основе древесины. Решение этой задачи будет способствовать ускоренному росту как деревянного домостроения, так и лесопромышленного комплекса страны.

Основными документами, регламентирующими требования к технологическому процессу изготовления, контролю качества и приемке элементов несущих и ограждающих деревянных клееных конструкций, используемых в промышленном, гражданском и сельском строительстве, являются:

- «Руководство по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций», разработанное в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко в 1982 г. [9];
- ГОСТ 20850–2014. Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия;
- ГОСТ 19414-90. Древесина клееная массивная. Общие требования к зубчатым клеевым соединениям.



Соблюдение требований, указанных в этих документах, позволяет производителям ДКК поставлять на строительную площадку качественную продукцию, что во многом определяет безопасную эксплуатацию объекта в течение срока службы.

Одним из требований нормативных документов, в частности ГОСТ 20850–2014, является регулярность контроля качества клеевых зубчатых соединений в ламелях многослойных клееных конструкций. Если для большепролетных конструкций требуется проводить испытания зубчатых соединений на изгиб не менее пяти образцов в смену и не менее двух образцов на один элемент ДКК, то для элементов перекрытий пролетом до 7.5 м и временных построек можно отбирать для испытаний не менее пяти образцов в течение недели. Данное требование отчасти обусловлено влиянием на прочность зубчатого клеевого соединения особенностей макростроения склеиваемой древесины и ряда технологических факторов, таких как шероховатость поверхности древесины в зоне нарезки шипов, количество, качество и равномерность нанесения клея, давление и продолжительность прессования при склеивании, время выдержки склеенных ламелей. Вследствие вариабельности в параметрах макростроения древесины, наличия пороков, а также технологических особенностей производства одних и тех же ДКК на различных производственных площадках качество клеевых зубчатых соединений при прочих равных условиях может отличаться. Целью настоящего исследования явилось установление влияния на качество клеевых зубчатых соединений равномерности нанесения клея при сращивании заготовок и наличия пороков, в частности – сучков.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В ходе экспериментальных исследований в лаборатории сопротивления материалов Костромского государственного университета проведены исследования качества зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе. Образцы для испытаний были выпилены в Костромской области из ламелей, подготовленных для склеивания по пласти с зубчатым клеевым соединением посередине длины. Их характеристики: размер – 45×195×1000 мм, порода древесины – сосна, влажность – (10.0±2.0)%, длина шипа – 20 мм. Для склеивания использовался меламино-мочевиноформальдегидный клей при норме расхода 240 г·м<sup>-2</sup> (двустороннее нанесение); количество образцов для испытаний – 15 шт. Испытания проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 33120-2014 «Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений (EN 302-1:2013, NEQ)» реализованы на машине AmslerZBD 30, которая была проверена с помощью образцового динамометра системы Токаря, что обеспечивает точность измерений.

Испытания проводили по схеме, указанной на рис. 1, с приложением нагрузки в третях пролета на пласт. Применение такой схемы нагружения позволило создать в расчетной зоне деформацию чистого изгиба.

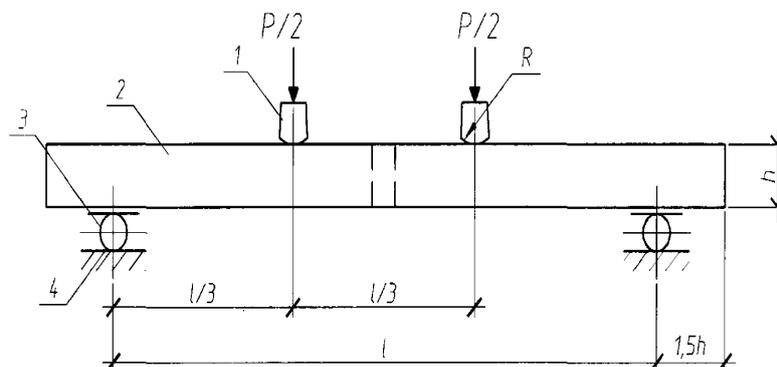


Рис. 1. Схема испытания зубчатых клеевых соединений при изгибе:

1 – нагружающие ножи, 2 – образец, 3 – цилиндрический шарнир, 4 – опора

Fig. 1. Scheme of finger joint at bending: 1 – loading blades, 2 – sample, 3 – cylindrical joint, 4 – bearing



Образец нагружали равномерно с постоянной скоростью, при которой образец разрушался через 3-5 мин после приложения нагружения.

Значение разрушающего напряжения в зубчатом клеевом соединении определяли:

$$\sigma = \frac{Pl}{bh^2},$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;  $l$  – величина пролета испытуемого образца,  $l = 600$  мм;  $b$  – ширина образца, мм;  $h$  – толщина образца, мм.

После регистрации значений разрушающей нагрузки проводился визуальный осмотр образцов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При испытаниях 15 образцов были получены результаты (табл. 1), из которых видно, что минимальное значение напряжения при статическом изгибе составило 10.6 МПа, а максимальное значение – 22.9 МПа. В тех случаях, когда разрушение происходило по древесине, значение разрушающего напряжения в зубчатом клеевом соединении колебалось в диапазоне 17.3-22.9 МПа. При этом среднее значение разрушающего напряжения составило 19.8 МПа, среднее квадратическое отклонение – 1.77, дисперсия выборки – 3.15; коэффициент вариации – 8.9%.

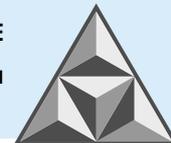
**Таблица 1.** Результаты лабораторных испытаний по определению прочности зубчатого клеевого соединения при статическом изгибе

**Table 1.** Results of laboratory tests on the finger joint strength at static bending

Номер образца	Размеры поперечного сечения образца		Разрушающая нагрузка $P$ , Н	Максимальное напряжение $\sigma$ , МПа	Характер разрушения
	Ширина $b$ , мм	Толщина $h$ , мм			
1	45.5	193.0	15250	22.90	По древесине
2	45.6	194.5	11750	17.43	По древесине
3	45.8	195.0	9500	13.94	Наличие сучка в рабочей зоне
4	45.7	195.0	11750	17.31	По древесине
5	45.8	194.6	14000	20.58	По древесине
6	45.7	194.5	9500	14.03	Мало клея, сучок в рабочей зоне
7	45.5	194.4	13500	20.13	По древесине
8	45.6	195.0	12400	18.35	По древесине
9	45.3	194.7	14250	21.40	По древесине
10	45.3	194.0	12800	19.29	По древесине
11	45.8	194.3	7200	10.60	Нет клея на 1/3 ширины образца
12	45.5	194.6	9100	13.55	Мало клея
13	45.6	193.2	14500	21.66	По древесине
14	45.7	194.5	13250	19.57	По древесине
15	45.2	194.8	12500	18.84	По древесине

Лишь 53.3% образцов имели значения максимального напряжения при изгибе, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 20850–2014. При этом 20% образцов соответствовали классу прочности C14, 26.6% – классу C16, 6.7 % – классу C18. Наиболее вероятной причиной неравномерного нанесения клея на шипы по ширине образца является частичный износ гребенки для нанесения клея.

В качестве примера, иллюстрирующего значимость соблюдения требований нормативных документов, на рис. 2-4 показан внешний вид образцов после испытаний. Видно, что низкое значение разрушающего напряжения при изгибе имеет место для образцов, в нагруженной зоне которых присутствуют недопустимые сучки (см. рис. 2, образцы № 3 и № 6).



В некоторых образцах клей на шипы был нанесен неравномерно или даже не наносился на часть шипов (рис. 3, образцы № 11 и № 12). При равномерном нанесении клея на шипы по всей ширине заготовок наблюдаемый характер разрушения представлен на рис. 4.



**Рис. 2.** Разрушение при недопустимом расположении сучков в рабочей зоне

**Fig. 2.** Failure due to unacceptable knots in the working area



**Рис. 3.** Разрушение при неполном нанесении клея на поверхность шипов

**Fig. 3.** Failure due to incomplete glue application to the finger joints surface



**Рис. 4.** Характерное разрушение в зоне зубчатого соединения при отсутствии дефектов и качественном нанесении клея

**Fig. 4.** Characteristic failure in the location of the finger joints at the absence of defects and proper application of glue

Снижение прочности клееной древесины в зоне зубчатого соединения можно объяснить наличием кососрезанных волокон в местах нарезки шипов, как это отмечается в [7]. Другой причиной является искривление древесных волокон вблизи сучков, если они достаточно крупные и расположены вблизи места нарезки шипов [10, 11]. В результате уширения годичных слоев в искривленной зоне повышается впитываемость клея в раннюю зону годичного слоя и наблюдается «голодный» клеевой шов – тонкая клеевая прослойка, не обеспечивающая требуемую адгезионную прочность в месте соединения. Важным фактором для прочного клеевого соединения, по мнению исследователей [12], является обеспечение в ходе технологического процесса изготовления ДКК тонкого, однородного и сплошного клеевого слоя, в котором сведены к минимуму внутренние напряжения. Если клей по сечению заготовок нанесен неравномерно, между ним и древесиной образуются пустоты и микрополости, уменьшается площадь адгезионного взаимодействия. Эти участки также служат концентраторами напряжений, ослабляющих прочность соединения. Установлено, что толщина клеевого слоя не оказывает существенного влияния на прочность клеевого соединения древесины. Прочность клеевого соединения преимущественно зависит от площади контакта связующего с древесиной, природы клея и глубины его проникновения в древесину [7, 10-13]. В этой связи особенно важно, чтобы в условиях производства использовался качественный клей определенной вязкости, соблюдались требуемые технологические режимы открытой и закрытой выдержки.



## ВЫВОДЫ

Качество зубчатых клеевых соединений заготовок при производстве деревянных клееных конструкций обеспечивается при соблюдении требований нормативно-технической документации к параметрам клея, равномерности его нанесения на шипы и отсутствии крупных сучков вблизи шипового соединения. В этом случае прочность при изгибе ламелей, сращенных на зубчатый шип, будет выше 18 МПа, что отвечает требованиям ГОСТ 20850-2014.

Для обеспечения равномерности нанесения клея в местах зубчатого соединения необходимо своевременно заменять гребенки, чаще проводить контрольные мероприятия в ходе технологического процесса. При подготовке заготовок к склеиванию на операции вырезки дефектных мест важно соблюдать требования ГОСТ 19414-90 и не допускать присутствие сучков диаметром более 5 мм в месте нарезки шипов.

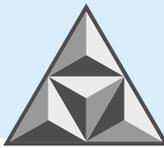
## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Деревянное строительство как драйвер ЛПК // *Леспромформ.* 2022. № 3(165). С. 24–25.
2. **Рыкунин С.Н., Кривошеков Н.В.** Влияние изменения параметров сосновых пиломатериалов на формирование качества стенового клееного бруса // *Лесной вестник.* 2017. Т. 21, № 6. С. 50–53.
3. **Кирюгина С.Е.** Совершенствование технологии и повышение эксплуатационной надежности деревянных стеновых конструкций из клееного бруса : автореф. Дис. ... канд. техн. наук. С.-Петербург, 2017.
4. **Леонович О.К., Судникович С.П.** Исследование прочностных и теплофизических свойств деревянных строительных конструкций // *Труды БГТУ.* 2013. № 2(158). С. 135–137.
5. **Мелехов В.И., Рудная Н.С.** Влияние микрорельефа сопрягаемых поверхностей древесины на прочность склеивания // *Лесной журнал.* 2014. № 6(342). С. 89–100.
6. **Титунин А.А., Зайцева К.В.** Древесиноведческие и технологические проблемы производства клееных материалов для деревянного домостроения // *Жилищное строительство.* 2016. № 11. С. 44–47.
7. **Серов Е.Н., Лабудин Б.В.** Клееные деревянные конструкции: состояние и проблемы развития // *Лесной журнал.* 2013. № 2. С. 137–147.
8. **Лебедева, М.А.** Место клееных деревянных конструкций в современном строительстве и архитектуре // *Молодой ученый.* 2018. № 50(236). С. 46–48. URL: <https://moluch.ru/archive/236/54810/> (дата обращения: 12.02.2023).
9. Руководство по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций / Центр. науч.-исслед. ин-т строит. конструкций им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1982.
10. **Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н., Степанищева М.В.** Влияние строения и структуры древесины различных пород на расход клея при производстве фанеры // *Системы. Методы. Технологии.* 2019. № 4(44). С. 112–117. DOI:10.18324/2077-5415-2019-4-112-117.
11. **Коваленко И.В., Чубинский М.А., Русаков Д.С., Варанкина Г.С.** Поверхностные свойства и строение древесины осины // *Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад.* 2016. № 217. С. 182–193.
12. А.С. № 1212790 СССР. Клеевое соединение заготовок из древесины с помощью зубчатых шипов / Гусев А.И. Опубл. 23.02.1986. Бюл. № 7.
13. **Корниенко В.А., Сычев А.Н., Таргонская М.В.** Качество клеевого соединения при сращивании отрезков транспортной влажности // *Semantic Scholar.* URL: [http://www.science-bsea.bgita.ru/2016/les\\_2016/kornienko\\_kach.htm](http://www.science-bsea.bgita.ru/2016/les_2016/kornienko_kach.htm) (дата доступа: 04.05.2023).

Поступила в редакцию 02.05.2023

Одобрена после рецензирования 16.06.2023

Принята к опубликованию 21.06.2023



## REFERENCES

1. Wooden construction as a driver of the timber industry complex (2022), *Lesprominform*, 3(165), pp. 24–25 (in Russian).
2. **Rykunin, S.N. & Krivoshechekov, N.V.** (2017) Influence of changes in the parameters of pine lumber on the formation of the quality of wall laminated timber, *Lesnoj vestnik*, 21(6), pp. 50–53 (in Russian).
3. **Kiryutina, S.E.** (2017) Improvement of technology and improvement of operational reliability of wooden wall structures made of glued beams : PhD. St. Petersburg (in Russian).
4. **Leonovich, O.K. & Sudnikovich, S.P.** (2013) Research of strength and thermal-physical properties of wooden building structures, *Trudy BGTU*, 2(158), pp. 135–137 (in Russian).
5. **Melekhov, V.I. & Rudnaya, N.S.** (2014) Influence of microrelief of mating wood surfaces on bonding strength, *Lesnoj zhurnal*, (342), pp. 89–100 (in Russian).
6. **Titunin, A.A. & Zaitseva, K.V.** (2016) Wood science and technological problems of production of laminated materials for wooden housing construction, *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, (11), pp. 44–47 (in Russian).
7. **Serov, E.N. & Labudin, B.V.** (2013) Glued wooden structures: state and problems of development, *Lesnoj zhurnal*, (2), pp. 137–147 (in Russian).
8. **Lebedeva, M.A.** (2018) The place of laminated wooden structures in modern construction and architecture, *Molodoj uchenyj*, 50 (236), pp. 46-48 [online]. Available at: <https://moluch.ru/archive/236/54810/> (in Russian).
9. *Guidelines for manufacturing and quality control of wooden laminated structures Central'nyjnauchno-issledovatel'skij institut stroitel'nyh konstrukcijim. V.A. Kucherenko Gosstroya SSSR.* (1982). M.: Stroyizdat (in Russian).
10. **Rusakov, D.S., Varankina, G.S., Chubinsky, A.N. & Stepanischeva, M.V.** (2019) Influence of structure and wood structure of different species on glue consumption in plywood production, *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 4 (44), pp.112-117. DOI:10.18324/2077-5415-2019-4-112-117 (in Russian).
11. **Kovalenko, I.V., Chubinsky, M.A., Rusakov, D.S. & Varankina G.S.** (2016), Surface properties and structure of aspen wood, *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, (217), pp. 182–193 (in Russian).
12. **Gusev, A.I.** (1986) *Adhesive bonding of wood workpieces with toothed spikes.* SU1212790 USSR (in Russian).
13. **Kornienko, V.A., Sychev, A.N., Targonskaya, M. V.** Quality of adhesive bonding when splicing pieces of transport moisture, *Semantic. Scholar* [online]. Available at: [http://www.science-bsea.bgita.ru/2016/les\\_2016/kornienko\\_kach.htm](http://www.science-bsea.bgita.ru/2016/les_2016/kornienko_kach.htm) (access date: 05/04/2023) (in Russian).

Received 02.05.2023

Approved after reviewing 16.06.2023

Accepted 21.06.2023