

В.В. ТЮТЕРЕВ<sup>1</sup>, В.Ю. РУБЦОВ<sup>1</sup><sup>1</sup>АО «ЕРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат», г. Нижний Тагил, Россия

## ШПУНТ КОРЫТНОГО ТИПА С ПОВЫШЕННЫМИ ИНЕРЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**Аннотация.** В статье представлена разработка новой конструкции шпунтовой сваи корытного типа системы Ларсена с увеличенным коэффициентом удельного использования материала. За основу модели взята конструкция шпунта типа Ларсена, производимая на Нижнетагильском металлургическом комбинате. В качестве дополнительного элемента шпунтовой сваи, позволяющего увеличить инерционные характеристики, были разработаны фланцы, что позволило сместить центр тяжести ближе к стенке, увеличило пластический момент сопротивления, и как следствие повысило коэффициент удельного использования материала. Предложенная конструкция шпунта имеет повышенные инерционные характеристики, при сохранившейся жесткости шпунтовой стенки. Повышение коэффициента удельного использования материала позволяет использовать более легкий шпунт для удержания более нагруженной от грунта шпунтовой стенки и создавать более жесткую систему шпунтовых стенок.

**Ключевые слова:** шпунтовая свая системы Ларсена, шпунт корытного типа, профиль горячекатаный, коэффициент удельного использования материала, момент инерции сечения, пластический момент сопротивления.

V.V. TYUTEREV<sup>1</sup>, V.YU. RUBTSOV<sup>1</sup><sup>1</sup>EVRAZ NTMK, Nizhny Tagil, Russia

## SHEET PILLING WITH INCREASE MOMENTUM FACTOR

**Abstract.** The article presents development of Larsen system sheet piling new design with increased material using coefficient. The Larsen type sheet pile construction, produced at the Nizhny Tagil Metallurgical Plant is based model. As an additional element of sheet piling, special flanges were developed, which allows increasing inertial characteristics, which made it possible to shift gravity center closer to walls, increased plastic moment of resistance, and as a result, material-using coefficient was increased. The proposed design of sheet pile has increased inertial characteristics, while maintaining rigidity of sheet pile wall. Use material coefficient increased may be with utilization lighter sheet pile to hold sheet pile wall more loaded from ground and created more rigid sheet pile system.

**Keywords:** Larsen sheet pile, sheet piling, rolled profile, scrap materials reduced, second area moment, plastic moment.

### Введение

В строительной индустрии одним из основных направлений является развитие новых конструкций, отвечающих требованиям современной мировой экономики, к данным направлениям относятся, как разработка способов сборки конструкций, создание новых материалов, характеризующиеся высокими эксплуатационными и технологическими свойствами, а также разработка профилей металлоконструкций, способных решать все вышеперечисленные задачи.

Шпунты корытного типа (Шпунт Ларсена) используются в мировой строительной индустрии уже более 100 лет. Особенностью применения данного шпунта является удержание как горизонтальных нагрузок на шпунтовых стенках при строительстве гидротехнических сооружений, туннелей, шахт, промышленных и других объектов, для

ограждения котлованов, так и вертикальных нагрузок при использовании шпунтов в качестве грунтовых анкеров при мостостроении [1-8]. Первой наиболее важной задачей при выборе шпунта является определение его несущей способности, а также условия преодоления прочности грунта при его забивании. Для решения вышестоящей задачи производится инженерный расчет, в котором определяются такие характеристики: как длина разделительного ограждения, глубина заложения фундаментов, погонная нагрузка на фундамент, а также вид грунта. Затем производится подбор шпунта, согласно его техническим характеристикам, к которым относятся нормальная жесткость, изгибная жесткость и приведенный вес погонного метра, с определением модуля деформации [9-11]. Немаловажным фактором при выборе шпунта является высокий коэффициент использования материала (КИМ).

Следуя методу, решение исходного уравнения с соответствующими граничными условиями ищется в виде суммы:

$$\text{КИМ} = W_x/M,$$

где  $W_x$  – момент сопротивления шпунтовой стенки относительно оси  $x$ ;  $M$  – масса  $1 \text{ м}^2$  шпунтовой стенки, которая зависит от массы  $1 \text{ м}$  длины сваи и межзамкового расстояния, кг.

Согласно вышеприведенной формулы, с целью увеличения КИМ при выборе шпунта существуют следующие направления:

1. Выбор шпунта с максимально широкой стенкой, с целью увеличения межзамкового расстояния.
2. Выбор шпунтов с высокими инерционными характеристиками, при малой массе самого профиля.

Потребителей все больше интересуют горячекатаные шпунтовые сваи с межзамковым расстоянием не менее  $500 \text{ мм}$  и с показателем удельного использования материала  $\text{КИМ} > 15 \text{ см}^3/\text{м}$ .

В связи с вышесказанным при разработке шпунтов основным направлением с целью увеличения КИМ заданного профиля является разработка конструкции с высоким моментом сопротивления. В настоящее время проблема создания шпунтов с высокими инерционными характеристиками наиболее актуальна, поэтому в данной статье будут исследованы геометрические параметры, изменение которых приводит к увеличению инерционных характеристик шпунтовой сваи.

#### Модели и методы

В процессе разработки шпунта новой конструкции в качестве базового во время проведения исследования был взят профиль шпунта Л5-УМ, изготавливаемый на стане прокатки широкополочных балок АО «ЕВРАЗ-НТМК» (рисунок 1).

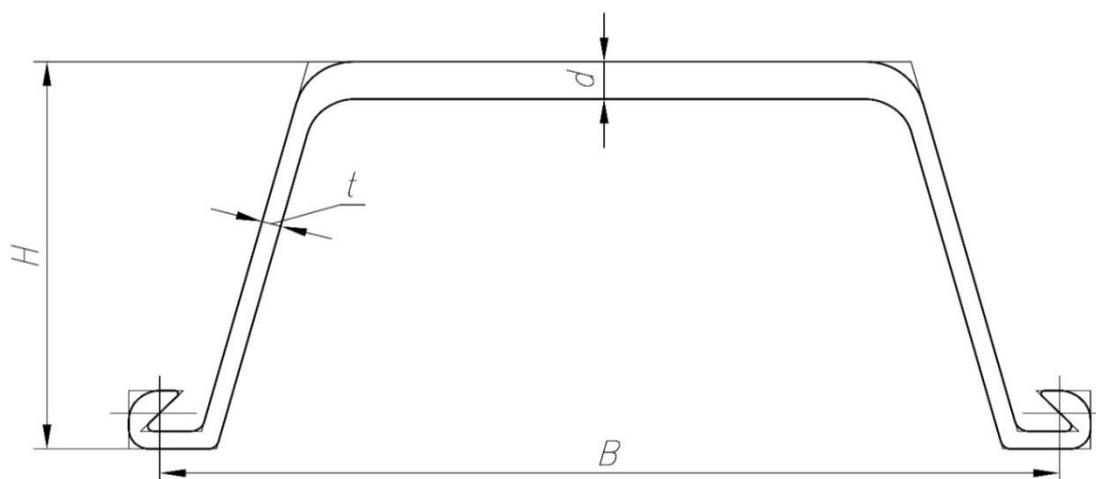


Рисунок 1 - Профиль шпунта Л5-УМ

Увеличение межзамкового расстояния возможно в ограниченных пределах и чаще всего лимитировано возможностью существующего оборудования. Так, к примеру, изготавливаемые в РФ шпунтовые сваи модели Л5-УМ на Нижнетагильском металлургическом комбинате имеют максимально-возможное межзамковое расстояние 500 мм [12]. Целью данного исследования является уменьшением массы шпунта, для создания конкуренции на мировом рынке, но при этом сохранение КИМ на достаточно высоком уровне, поэтому все расчеты необходимо производить с уменьшением базовых параметров от исходных. Также в условиях получения повышенных инерционных характеристик должна сохраняться необходимая жесткость конструкции. Определение жесткости конструкции выполнялась в программе Autodesk Inventor Professional 2020.

### Результаты исследования и их анализ

Для определения степени влияния отдельных параметров шпунта произведены расчеты основных характеристик шпунта, при изменении основных геометрических размеров:

$H$  – высоты шпунта;  $B$  – межзамкового расстояния;  $t$  – толщины стойки шпунта;  $d$  – толщины стенки шпунта.

Наибольшее влияние с проведением данных изменений на упругий момент сопротивления и как следствие показателя удельного использования материала оказало смещение центра тяжести: при удалении его от стенки шпунта КИМ начинает значительно снижаться, при приближении увеличиваться.

Представлена таблица 1 основных характеристик, при изменении толщины стенки исходного профиля для высоты сваи 238,5 мм.

По данным таблицы 1 можно наблюдать, что при уменьшении толщины стенки на 10 мм КИМ уменьшается на 13,6%. На рисунке 2 приведен график зависимости относительного снижения характеристик, в % от первоначальных.

Таблица 1 - Изменение характеристик шпунтовой сваи при различной толщине стенки

Толщина стенки, $d$ (мм)	Высота сваи, $H$ (мм)	11,0	11,0	13,0	13,0	15,0	15,0	17,0	17,0	19,0	19,0	21,0	23,0
		238,5	226,5	238,5	228,5	238,5	230,5	238,5	232,5	238,5	234,5	238,5	238,5
Параметры													
масса, $m$	сваи, $кг/м$	82,9	81,3	88,0	86,8	93,2	92,2	98,4	97,7	103,5	103,2	108,8	113,9
	стенки, $кг/м^2$	163,8	160,7	173,9	171,6	184,2	182,3	194,4	193,2	204,6	203,9	215,0	225,1
момент инерции сечения, $см^4$	сваи	8363	7426	8820	7985	9203	8498	9529	8975	9807	9422	10040	10240
	стенки	45057	39902	50351	45610	55578	51397	60713	57316	67021	63444	70729	76430
пластический момент сопротивления, $см^3$	сваи	596,01	552,12	606,00	569,06	614,56	583,77	620,58	597,02	625,13	608,34	628,29	630,2
	стенки	2096	1966	2342	2225	2585	2483	2824	2742	3117	3007	3290	3555
показатель удельного использования материала, $k$		12,79	12,23	13,47	12,97	14,04	13,62	14,53	14,2	14,95	14,72	15,3	15,6

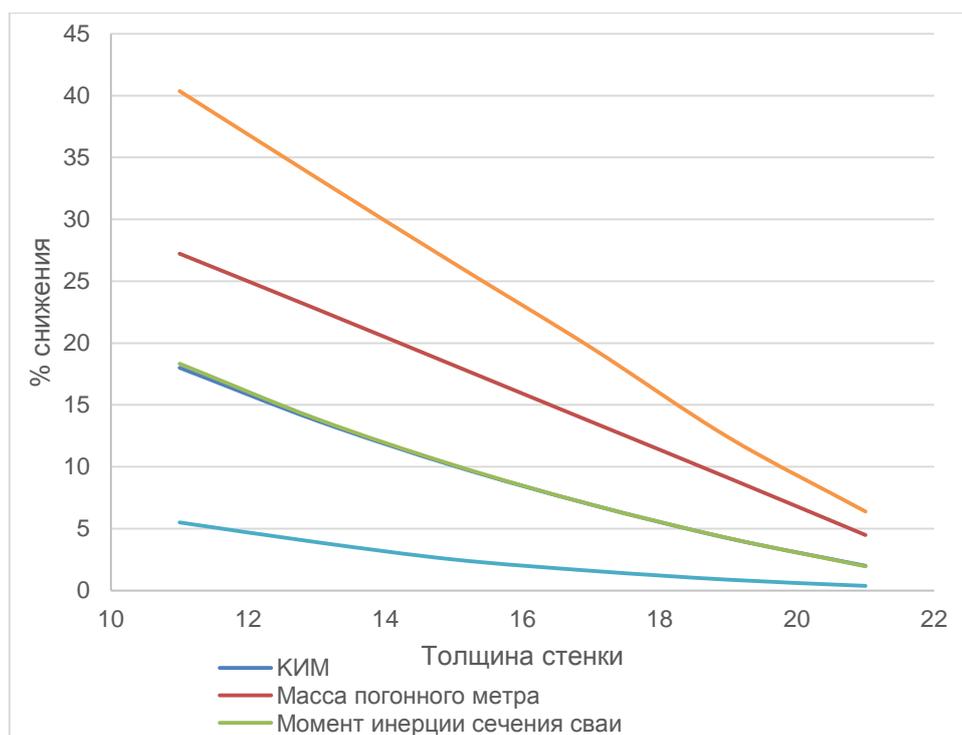


Рисунок 2 - График снижения основных характеристик в % при уменьшении толщины стенки шпунта Л5-УМ.

Согласно графику на рисунке 2 уменьшение толщины стенки, и как следствие металлоемкости шпунта приводит к снижению всех инерционных характеристик шпунтовой сваи, в том числе КИМ. При этом изменение прочих геометрических параметров шпунта не дает существенного эффекта в уменьшении металлоемкости, поэтому авторами было принято в качестве перспективного решения произвести смещение центра тяжести в сторону стенки, при этом сохранив инерционные составляющие и параметры жесткости шпунта, и предложена модернизированная конструкция шпунта корытного типа.

В модернизированной конструкции шпунта, представленной на рисунке 3, основной отличительной особенностью является наличие дополнительных фланцев, которые выполняют роль не только элементов, смещающих центр тяжести в сторону стенки, тем самым увеличивая инерционные характеристики сваи, а также предназначены для увеличения жесткости конструкции. За счет применения данных элементов появилась возможность уменьшения толщины стенки с сохранением КИМ.

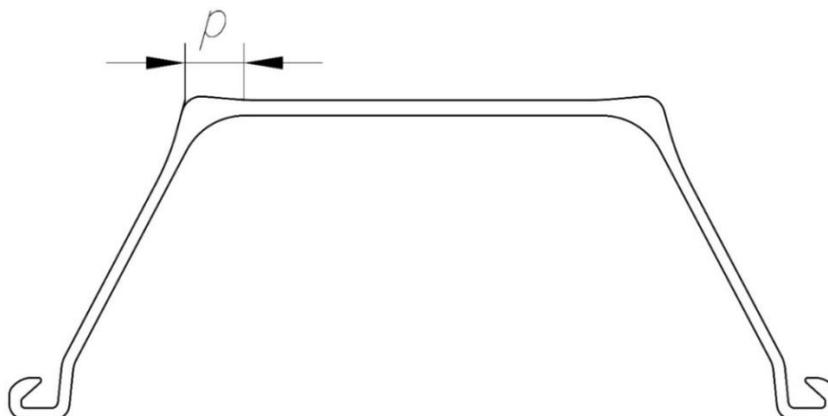


Рисунок 3 - Модернизированная конструкция шпунта корытного типа

В таблице 2 приведено сравнение основных характеристик для шпунта Л5-УМ, шпунта PU22, изготавливаемого компанией ArcelorMital и 3 типов модернизированного шпунта, с различной шириной фланцев, при этом угол подъема относительно стенки для фланцев во всех случаях составляет 5°.

Таблица 2 - Сравнительная характеристика инерционных показателей шпунтов

Тип шпунтовой сваи		Л5-УМ	PU22	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Ширина фланца, p (мм)		-	-	40	45	50
масса, m	сваи, кг/м	113,88	86,1	86,04	86,32	86,64
	стенки, кг/м <sup>2</sup>	225,06	144,0	143,39	143,87	144,4
момент инерции сечения, см <sup>4</sup>	сваи	10240,0	8747,7	8611,3	8637,0	8685,7
	стенки	76430	49460	51117	51428	51775
пластический момент сопротивления, см <sup>3</sup>	сваи	630,2	546,5	525,5	526,2	526,9
	стенки	3555,0	2200,0	2271,9	2285,7	2301,1
показатель удельного использования материала, КИМ		15,6	15,3	15,84	15,9	16,0

Согласно данным таблицы 2 момент инерции сечения и пластический момент сопротивления сваи для данного шпунта ниже, чем у существующих шпунтов, момент инерции сечения стенки выше, чем у шпунта PU22. Представленные 3 типа шпунта имеют массу соизмеримую с массой PU22 и значительно меньшую, чем у Л5-УМ. У разработанного шпунта показатель удельного использования материала значительно выше, чем у шпунтов PU22, Л5-УМ [13].

Для определения жесткости предлагаемой конструкции было проведено моделирование напряжений при работе шпунтовой стенки из свай тип 2 (рисунок 4).

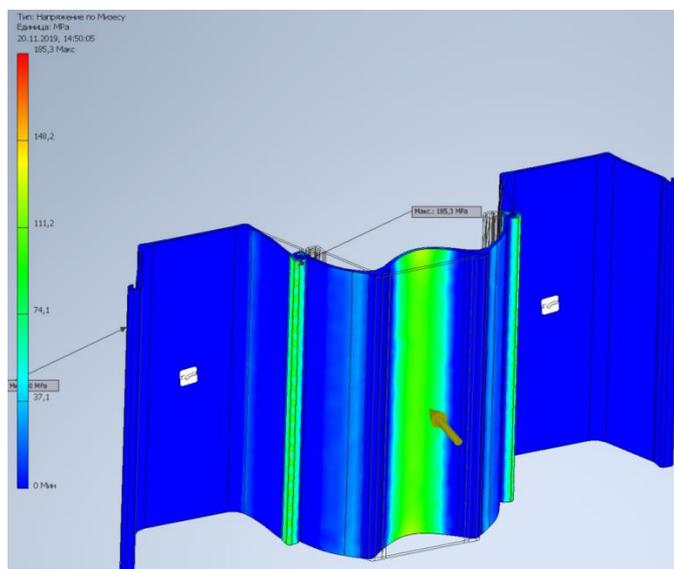


Рисунок 4 - Моделирование напряжений от давления грунта на шпунтовую стенку

Моделирование напряжений производилось для шпунтовой стенки из трех элементов длиной 1 м. Была задана максимально-возможная расчетная нагрузка 320 кН. Максимальные напряжения в предложенной конструкции создаются в замках и их предельные значения составляют 185,3 МПа, что при использовании стали обыкновенного

качества Ст.Зсп дает более чем 3-х кратный запас прочности конструкции, при этом эффективность использования металла, согласно таблицы 2 возрастает, это показывает перспективность использования предложенной конструкции и создания конкурентоспособности на рынке шпунтов.

**Выводы.**

1. На примере шпунтовой сваи с сечением корытного типа проанализировано влияние геометрических параметров (высоты шпунта, межзамкового расстояния, толщины стойки шпунта, толщины стенки шпунта) на изменение инерционных характеристик шпунта. Наибольшее влияние на инерционные характеристики при этом оказывает изменение толщины стенки.

2. Показано, что относительное снижения характеристик в % от первоначальных с изменением толщины стенки для массы погонного метра, момента инерции сечения сваи, пластического момента сопротивления сваи, пластического момента сопротивления стенки, коэффициента удельного использования материала носит практический линейный характер.

3. В качестве дополнительного элемента шпунтовой сваи, позволяющего увеличить инерционные характеристики были предложены фланцы. Наличие фланцев позволило сместить центр тяжести сечения ближе к стенке, что увеличило пластический момент сопротивления, и, как следствие, повысило коэффициент удельного использования материала.

4. Выполненный в программном комплексе Autodesk Inventor Professional 2020 расчет элемента шпунтовой стенки на давление грунта подтвердил, что прочность предложенного варианта шпунта обеспечена.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Borel S., Bustamante M, Rocher-Lacoste F. The comparative Bearing capacity of vibratory and impact drive piles // TRANNSVIB 2006. Gonin, Holeyman et Rocher-Lacoste (ed.) Editions du LCPC. Paris, 2006.
2. Bustamante M., Gianceselli L. Predicting the bearing capacity of sheet piles under vertical load // In Piling and Deep Foundations. Proceeding of the 4th International Conference, 7-12 April Stresa (Italy), 1991.
3. Regles techniques de conception des fondations des ouvrages de genie civil. Paris, 1993, Fascicule 62, titre V.
4. Квачински П. Несущая способность шпунтов Ларсен на вертикальную осевую нагрузку // Mechanics & Technologies. Poland. 2013. №3. pp. 44-54.
5. Новак Ю.В., Макаров Г.И. Балочно-шпунтовые сваи в качестве несущих конструкций в мостовом строительстве // Транспортное строительство. 2018. № 4. С. 9-12.
6. Югов А.М., Новиков Н.С. Современные шпунтовые системы укрепления ограждения котлованов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 6 (122). С. 38-42.
7. Корягин А.А., Сурсанов Д.Н. Технологии устройства ограждений глубоких котлованов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2017. Т. 2. С. 224-235.
8. Мангушев Р.А., Гурский А.В., Полуин В.М. Учет влияния технологических осадок зданий окружающей застройке при устройстве шпунтовых ограждений соседних котлованов // Жилищное строительство. 2020. № 9. С. 9-19.
9. Винников Ю.Л., Веденисов А.В. Модельные исследования эффективности грунтоцементных разделительных экранов для защиты зданий от влияния нового строительства // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2015. №1. С. 51-63.
10. Полищук А.И., Межаков А.С. Оценка влияния разделительной шпунтовой стенки в глинистых грунтах на осадки фундаментов существующих зданий // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении. Южно-Рос. Гос. Политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. №3. С.143-148.
11. Полищук А.И., Межаков А.С. Оценка работы разделительных ограждений в слабых глинистых грунтах, устраиваемых для защиты существующих зданий и влияния нового строительства // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т.7. №2. С.124-131.
12. Патент RU 2064350 C1 Способ изготовления крупнобаритного шпунтового профиля типа Ларсен. Заявка 95120065/02 04.12.1995.
13. Шпунтовая свая типа Ларсен : пат 2740561 Рос. Федерация : МПК51 E02D 5/04 / В.В. Тютюрев, В.Ю. Рубцов, О.В. Киришевский, Д.Е. Кавун, В.В. Свириденко; заявитель и патентообладатель Акционерное

## REFERENCES

1. Borel S., Bustamante M, Rocher-Lacoste F. The comparative Bearing capacity of laboratory and impact drive piles // TRANNSVIB 2006. Gonin, Holeyman et Rocher-Lacoste (ed.) Editions du LCPC. Paris, 2006.
2. Bustamante M., Ganeselli L. Predicting the bearing capacity of sheet piles under vertical load // In Piling and Deep Foundations. Proceeding of the 4th International Conference, 7-12 April Stresa (Italy), 1991.
3. Regles techniques de conception des fondations des ouvrages de genie civil. Paris, 1993, Fascicule 62, titre V.
4. Kvachinsky P. Bearing capacity of Larsen tongue on vertical axial load // Mechanics & Technologies. Poland. 2013.No. 3. pp. 44-54.
5. Novak Ju.V., Makarov G.I. Girder and sheet piles as load-bearing structures in bridge construction // Transportnoe stroitel'stvo. 2018. № 4. pp. 9-12.
6. Jugov A.M., Novikov N.S. Modern sheet piling systems for strengthening the enclosure of excavations // Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury. 2016. № 6 (122). pp. 38-42.
7. Korjagin A.A., Sursanov D.N. Deep pit fencing technologies // Sovremennye tehnologii v stroitel'stve. Teorija i praktika. 2017. T. 2. pp. 224-235.
8. Mangushev R.A., Gurskij A.V., Polunin V.M. Taking into account the influence of technological precipitation of buildings of the surrounding development when installing sheet piling fences of neighboring ditches // Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2020. № 9. pp. 9-19.
9. Vinnikov Yu.L., Vedenisov A.V. Model studies of the effectiveness of soil cement spacers to protect buildings from influence of new construction // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture. 2015. No. 1. pp. 51-63.
10. Polishchuk A.I., Mezhakov A.S. Assessment of the influence of the separating tongue wall in clay soils on the sediments of the foundations of existing buildings // Soil mechanics in geotechnics and foundation construction. I southern Grew. State. Polytechnic University. Construction and architecture. 2014. No. 3. pp.143-148.
11. Polishchuk A.I., Mezhakov A.S. Evaluation of the work of separation fences in weak clay soils, arranged to protect existing buildings and the influence of new construction // Bulletin of Perm National Research University of Literature. Construction and architecture. 2016. T.7. No. 2. C.124-131.
12. Patent RU 2064350 C1 Method of Making Large-Size Larsen Type Tongue Pro-Phil. Application 95120065/02 04.12.1995.
13. Patent RU 2740561 Sheet pile of larsen type. Application 2020120691 / 23.06.2020

### Информация об авторах:

#### **Тютерев Валентин Владимирович**

АО «ЕВРАЗ-Нижнетагильский металлургический комбинат», г. Нижний Тагил, Россия, калибровщик цеха прокатки широкополочных балок.  
E-mail: [Valentin.Tyuterev@evraz.com](mailto:Valentin.Tyuterev@evraz.com)

#### **Рубцов Виталий Юрьевич**

АО «ЕВРАЗ-Нижнетагильский металлургический комбинат», г. Нижний Тагил, Россия, кандидат технических наук, главный специалист по производству рельсов.  
E-mail: [Uriyot@mail.ru](mailto:Uriyot@mail.ru)

### Information about authors:

#### **Tjuterev Valentin V.**

JSC "EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant", Nizhny Tagil, Russia, roll-pass designer of sheet beam rolling shop.  
E-mail: [Valentin.Tyuterev@evraz.com](mailto:Valentin.Tyuterev@evraz.com)

#### **Rubtsov Vitaliy Yu.**

JSC "EVRAZ Nizhny Tagil Metallurgical Plant", Nizhny Tagil, Russia, candidate of technical science, chief specialist of rails production.  
E-mail: [Uriyot@mail.ru](mailto:Uriyot@mail.ru)