

Cherevko O., Shcherbakov S.

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR AN AUTOMATED DYNAMIC CONTROL SYSTEM FOR CONVERTER MELTING

The article considers the problems of increasing the efficiency of converter steel production by implementing automated systems with dynamic control, based on continuous receipt and processing of information about the parameters of the technological process.

Existing approaches to mathematical modeling of converter processes are analyzed. The possibilities of practical application of static and dynamic models used to calculate the charge and material balance of the melt, describing the kinetics of processes, in particular, the rate of decarburization and temperature change, are presented. It is shown that the combination of static and dynamic models allows creating a complex control system capable of automatically controlling the technological process.

The purpose of the research is to develop software that combines the functions of static and dynamic calculation of converter melting parameters, as well as provide visualization of technological operations and the operation of converter equipment.

The proposed software is developed on the basis of the 2D and 3D general-purpose game engine Godot Engine, which has such advantages as free, cross-platform and support for various programming languages. The software is created using the GDScript language, 3D models developed in the Blender environment, and scripts that describe the behavior of individual system elements. The software implements visualization of the main stages of converter smelting and control of technological equipment. In addition to visualization, the program models converter smelting processes based on static and dynamic calculations.

The considered models adequately reflect the real processes of converter smelting. The developed software can be used both for automatic control of the technological process and for education and training of personnel. The implementation of a dynamic control system for converter smelting will increase the efficiency of converter production, improve the quality of steel and reduce the cost of production.

Keywords: oxygen converter process, computer modeling, visualization, static and dynamic model of converter smelting, automatic control system.

Стаття надійшла 05.05.2025р.

УДК 621.771

doi.org/10.31498/2522-9990292025330254

Григоренко В.У., Заболотній О.М.

ПІДВИЩЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТА МІЦНОСТІ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗВАРЮВАНOSTІ ХОЛОДНОГНУТИХ ШВЕЛЕРІВ

Швелери виробляють по технологіям гарячої прокатки з квадратної чи прямокутної заготовки так і по технології холодного згинання смуги або листа.

Маловуглецеві сталі, що застосовуються при виробництві гарячекатаних швелерів дають можливість зварювання, але не мають високої міцності. Тому постає питання з підвищенням показників міцності метала швелерів.

Металургія

Швелери сталеві згинають в місцях між полкою та стійками. Але такий профіль поступається жорсткістю по зрівнянню з гарячекатаними швелерами. Тому постає питання щодо підвищення жорсткості швелерів виготовлених методом згинання.

В роботі запропоновано складові розвинутої технології виготовлення холодногнутих профілів. Першою складовою є застосування маловуглецевої сталі при контрольованій прокатки, де виконується інтенсивна термічна обробка, яка збільшує, в основному, показники міцності сталі. Друга складова - для підвищення жорсткості в останніх проходах на профілегибочних безперервних станах запропоновано локально нагрівати метал в зонах кутів та осаджувати полку і заповнювати кут в 90 градусів між полкою та стійкою.

Гнуті швелери виготовляють з низьковуглецевих сталей (сталь 20, СтЗсп,) з границями міцності 370-410 Н/мм² регламентованим за ДСТУ 2834-94. Виробництві гнутого швелера виконувати, наприклад, із сталі S355 де границя міцності досягає 630 Н/мм² по EN 10025-2:2022. При цьому зменшення маси погонного метра швелера по зрівнянню з гарячекатаним може досягати значних величин. Важливо те, що швелери зі сталі S355 можливо зварювати.

Ключові слова: швелери гарячекатані та холодногнуті, жорсткість, міцність, зварюваність, сталі з контролюємої прокатки, локальний нагрів, локальна деформація, зменшення маси погонного метра швелера.

Постановка проблеми. Швелер це важливий вид металургійної продукції, використовується для надання міцності та жорсткості конструкцій. Його особлива форма дає добрі результати при навантаженні на вигин і сприймає поздовжні навантаження. Така форма збільшує міцність і зменшує масу металоконструкції [1].

Для виробництва швелерів, що відповідають перспективним та сучасним критеріям якості, конкурентоспроможності, експлуатаційної надійності в Україні введені такі стандарти:

- ДСТУ 3436-96 «Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент» [2];
- ДСТУ 8807:2018 «Балки двотаврові і швелери сталеві спеціальні. Сортамент» [3];
- ДСТУ 7551:2014 «Швелери. Сортамент» [4];
- ДСТУ 7549:2014. «Швелери сталеві гарячекатані з відігнутою полицею для вагонеток.

Сортамент». [5];

- ДСТУ 8808:2018 «Профілі сталеві гнуті. Технічні умови. [6].

Швелери виробляють по технологіям гарячої прокатки з квадратної чи прямокутної заготовки так і по технології холодного згинання смуги чи листа.

Для швелерів застосовують сталі, що окрім міцності та жорсткості повинні мати можливість зварювання. Маловуглецеві сталі, що застосовуються при виробництві гарячекатаних швелерів дають можливість зварювання, але не мають високої міцності.

Це протиріччя вирішено при виробництві зварних труб.

Застосовують маловуглецеві сталі з низьким легуванням. Також застосовують маловуглецеві нелеговані сталі після так званої контрольованої прокатки де виконується інтенсивна термічна обробка яка збільшує в основному показники міцності сталі.

Виробництво гнутих швелерів дозволяє застосовувати сталі вироблені за технологіями контрольованої прокатки. Але при цьому кути між полкою та стійками є округленими і швелер не має необхідної жорсткості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвитку методів калібрування валків для прокатки сортової продукції в наш час приділяють увагу [7].

На сьогодні практика з виробництва швелерів має 5 основних способів прокатки швелерів, що відрізняються між собою формою чорнових калібрів:

- балочний спосіб прокатки;
- коритний спосіб прокатки;
- спосіб прокатки в калібрах із збільшеним ухилом дійсних фланців та вигнутої стінкою;

- спосіб прокатки у розгорнутих калібрах;
- прокатка за способом згинання.

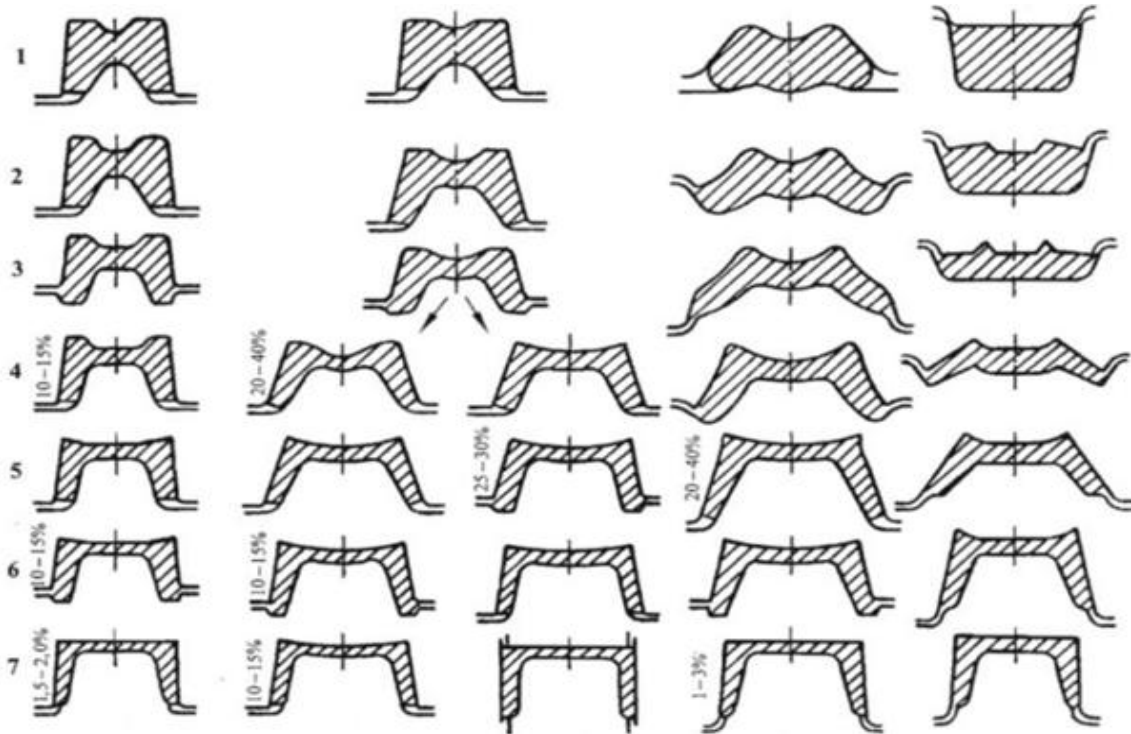


Рисунок 1 – Методи калібрування валків для прокатки швелерів: а – зі збільшеним ухилом дійсних фланців та прямою стінкою (коритний спосіб); б – зі збільшеним ухилом дійсних фланців та зігнутою стінкою; в – з застосуванням універсального чистового калібру; г – з розгорнутими дійсними фланцями та зігнутою стінкою; д – згинання прямих дійсних фланців [7]

Для формування чорнового профілю швелера з заготовки прямокутної форми майже у всіх методах використовують розрізні калібри (рис. 2).

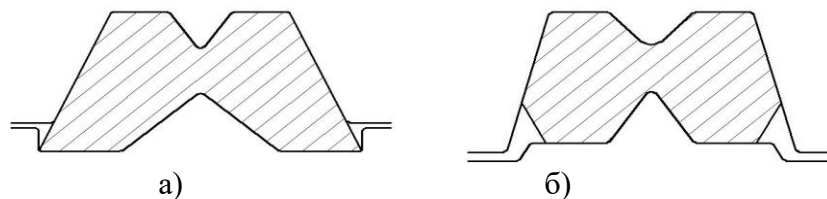


Рисунок 2 – Розрізні калібри: а - напівзакритий; б - закритий знизу

При цьому форми квадратної заготовки не є наближена до форми профіля і в процесі прокатки виникає велика нерівномірність деформування металу.

Особливістю при прокатці швелерів з заготовки квадратного профілю є забезпечення наявності фальшивих частин фланців в кутах між полкою та фланцями у чорнових калібрах (рис. 3).

Металургія

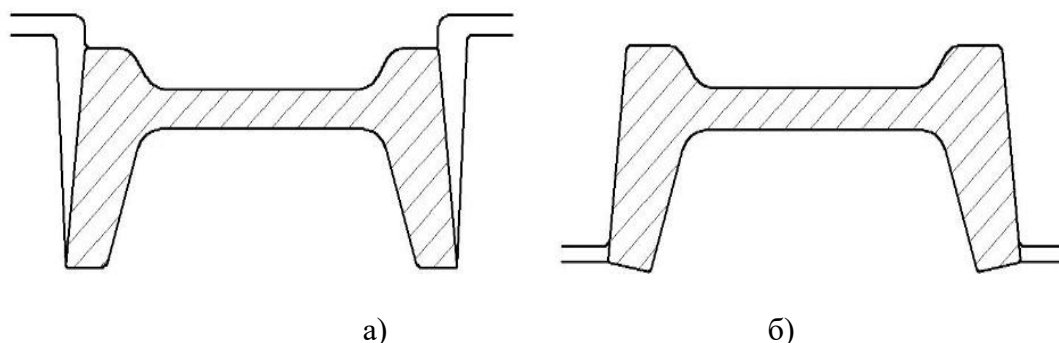


Рисунок 3 – Фальшиві фланці (в кутах між полицею та фланцями) у напівзакритому (а) та закритому (б) калібрах

Це потрібно для забезпечення в калібрах наступних клітей кута в 90 градусів між полицею та фланцями. Це присутнє більшості методів калібрування валків [6].

Всі ці засоби виробництва швелерів є досить енергоємні та потребують досить складних технологічних процесів та складної форми калібрів.

Значно менше потребують енерговитрат технології виробництва методом згинання.

Швелери сталеві гнуті відрізняється різноманітністю форм та розмірів, та регламентується ДСТУ 8808:2018 «Профілі сталеві гнуті. Технічні умови».

Візуально, від гарячекатаного швелера холодногнутий швелер відрізняється плавними округленими кутами вигину, однаковою товщиною всіх сторін, гладкою поверхнею (рис.4).

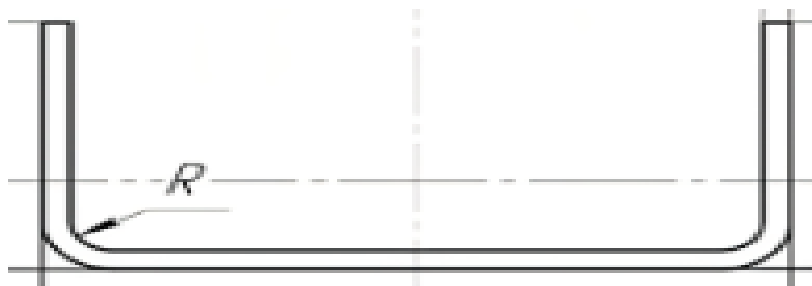


Рисунок 4 – Округленість між полкою та стійками в холодногнутому швелері

Виробництво гнутих профілів значно простіше і в порівнянні з гарячекатаним процесом не потребує значних енергетичних витрат на нагрів.

Швелери сталеві гнуті відносяться до фасонних профілів і мають характерну П-подібну форму. Їх виробляють методом холодного згинання листового металу або полос на профілезгинальних безперервних стана або механічних на механічних верстатах. Смути листової сталі згинають в зазначених місцях.

Але такий профіль поступається жорсткістю по зрівнянню з гарячекатаними швелерами.

Виробництво гнутих профілів значно простіше і в порівнянні з гарячекатаним процесом не потребує значних енергетичних витрат на нагрів.

Гнутий швелер виготовляється на спеціальних згинальних пресах чи на безперервних формовочних станах (рис. 5).



Рисунок 5 – Виробництво гнутих профілей [7]

При цьому гнутий профіль завдяки округленим кутам має меншу жорсткість в порівнянні із гарячекатаним. Тому постає питання щодо підвищення жорсткості швелерів виготовлених методом згинання.

Мета дослідження. Метою статті є представлення складових технології виробництва гнутих швелерів з металу контрольованої прокатки та з отриманням гострого кута у місці між полкою та стійками.

Це дасть можливість покращенню механічних властивостей таких як міцність і жорсткість в порівнянні із гарячекатаними та з холодногнутими.

Основний матеріал дослідження. Для усунення округлення кутів пропонується холодногнутий швелер в останніх проходах на профілегібочних безперервних станах попередньо нагрівати локально в зонах кутів між полкою до температури 1250 та осаджувати полку в сторону кута і заповнювати кут в 90 градусів між полкою та стійкою металом полки [8,9].

Розігрів локальних зон можливо двома засобами:

- газовими пальниками;
- індукційним нагріванням струмами високої частоти.

Після локального нагріву смуга буде піддаватись обтисненню в валках і при цьому завдяки нагріву пластична деформація буде проходити саме в зоні нагріву, формуючи гострий кут (рис. 6).

Після формування профілю можлива зміцнювальне охолодження деформованих ділянок профілю. Механічні властивості ділянок, які не були підтверджені нагріву та деформації залишаються незмінні.

Гнуті швелери виготовляють з низьковуглецевих сталей (сталь 20, СтЗсп,) з границями міцності 370-410 Н/мм² (кгс/мм²), регламентованим ДСТУ 2834-94 (ГОСТ 16523-97) «Прокат тонколистовий з вуглецевої сталі якісної та звичайної якості загального призначення. Технічні умови».

Металургія

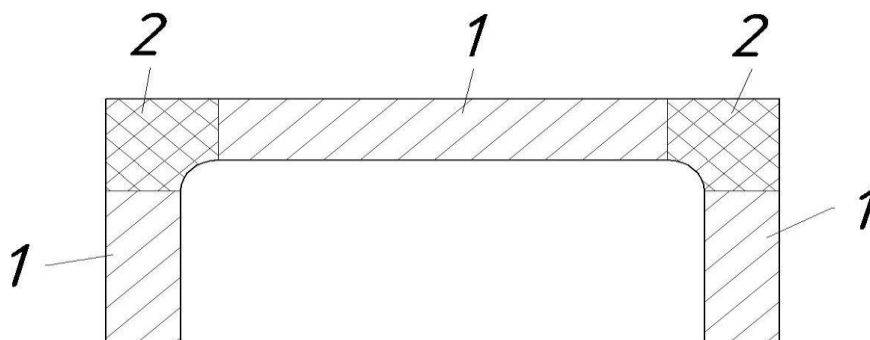


Рисунок 6 – Місце локального нагріву та локальної пластичної деформації холодногнутого швелера: 1 - зона, що не підлягала нагріву і деформації; 2 – зона локального нагріву та деформації

Виробництві гнутого швелера, наприклад, із сталі S355 де границя міцності досягає 630 Н/мм² по EN 10025-2:2022, при локальній гарячій деформації, а потім термообробці деформованих ділянок значно вплине на експлуатаційні властивості профіля згідно вимог споживача по перетину швелера.

Зменшення маси погонного метра швелера по зрівнянню може досягати значних величин. При цьому також значним є те, що швелери зі сталі S355 можливо зварювати.

ВИСНОВКИ

Маловуглецеві сталі, що застосовуються при виробництві гарячекатаних швелерів дають можливість зварювання, але не мають високої міцності.

Швелери сталеві згинають в місцях між полкою та стійками. Але такий профіль поступається жорсткістю по зрівнянню з гарячекатаними швелерами.

Тому постає питання щодо підвищення жорсткості та міцності швелерів виготовлених методом згинання.

В роботі запропоновано складові розвинутої технології виготовлення холодногнутих профілів:

- застосування маловуглецевої сталі контрольованої прокатки де виконується інтенсивна термічна обробка яка збільшує в основному показники міцності сталі;

- для підвищення жорсткості в останніх проходах на профілегібочних безперервних станах запропоновано локально нагрівати метал в зонах кутів та осаджувати полку і заповнювати кут в 90 градусів між полкою та стійкою.

Гнуті швелери виготовляють з низьковуглецевих сталей (сталь 20, СтЗсп,) з границями міцності 370-410 Н/мм² регламентованим за ДСТУ 2834-94. Виробництві гнутого швелера виконувати, наприклад, із сталі S355 де границя міцності досягає 630 Н/мм² по EN 10025-2:2022.

При цьому зменшення маси погонного метра швелера по зрівнянню з гарячекатаним може досягати значних величин. Значним є те, що швелери зі сталі S355 можливо зварювати.

Список використаних джерел

1. О. П. Максименко, М. М. Штода, О. В. Нікулін / Основи калібровки прокатних валків: Навчальний посібник. – Кам'янське: ДДТУ, 2023. – 156 с. <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/570>.
2. ДСТУ 3436-96 «Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент» https://dnaop.com/html/62400/doc-ДСТУ_3436-96.
3. ДСТУ 8807:2018 «Балки двотаврові і швелери сталеві спеціальні. Сортамент» https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?d_doc=78666.
4. ДСТУ 7551:2014 «Швелери. Сортамент» https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=63430.
5. ДСТУ 7549:2014. «Швелери сталеві гарячекатані з відігнутою полицею для вагонеток. Сортамент». https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=63430.
6. ДСТУ 8808:2018 «Профілі сталеві гнуті. Технічні умови» <https://uscc.ua/dstu-88082018-profil-stalevi-gnuti-tehnicni-umovi>
7. Илюкович, Б. М. Прокатка и калибровка. В 6 т. Т. 5. / Б. М. Илюкович, Н. Е. Нехаев, С. Е. Меркурьев. – Днепропетровск: Днепро-ВАЛ, 2002. – 482 с. <https://vdoc.pub/documents/5-4on3iio3uk20>.
8. Григоренко В.У., Заболотний О.М. (2024). Складові розвитку методів калібрування валків для прокатки швелерів на основі зменшення нерівномірності деформування». Вісник приазовського державного технічного університету вип. 48. 2024 р. с. 73-82 <https://doi.org/10.31498/2225-6733.48.2024>
9. Григоренко В.У., Заболотний О.М. (2024). Стосовно підвищення експлуатаційних властивостей швелерів вироблених способом згинання із смуги або штрипса. Проблеми і перспективи розвитку сучасних технологій в контексті відбудови і сталого розвитку України - 2024 : тези доп. Міжнар. науково-техн. конф. (Дніпро, 28-29 листопада 2024 р) : Навчально-науковий інститут сучасних технологій / ДВНЗ «ПДТУ». – Дніпро: ДВНЗ«ПДТУ», 2024. – 99 с., с.39-40. https://drive.google.com/file/d/1_4lmPQFfJ6Yg2G93905EL60NMdiCCVEv/view

Hrygorenko V.U., Zabolotnii O.M.

INCREASING THE RIGIDITY AND STRENGTH AND ENSURING THE WELDING OF COLD-BENT CHANNELS

Channels are produced using hot rolling technologies from square or rectangular billets and using cold bending technology of sheet strip.

Low-carbon steels used in the production of hot-rolled channels allow welding, but do not have high strength. Therefore, the question arises of increasing the strength of the metal of the channels.

Steel channels are bent in places between the flange and the uprights. But such a profile is inferior in rigidity when compared to hot-rolled channels. Therefore, the question arises of increasing the rigidity of channels manufactured by the bending method.

The work proposes components of the developed technology for manufacturing cold-bent profiles. The first component is the use of low-carbon steel of controlled rolling where intensive heat treatment is performed, which mainly increases the strength of the steel. The second component - to increase the rigidity in the last passes on continuous profile bending mills, it is proposed to locally heat the metal in the corner zones and precipitate the shelf and fill the 90-degree angle between the shelf and the rack.

Bent channels are made of low-carbon steels (steel 20, St3sp,) with tensile strengths of 370-410 N/mm² regulated by DSTU 2834-94. The production of bent channels is carried out, for example, from S355 steel where the tensile strength reaches 630 N/mm² according to EN 10025-2:2022. At the same time, the reduction in the mass of a linear meter of the channel compared to hot-rolled can reach significant values. It is significant that channels made of S355 steel can be welded.

Keywords: hot-rolled and cold-bent channels, stiffness, strength, weldability, steels from controlled rolling, local heating, local deformation, reduction in the mass of a linear meter of channel.

Стаття надійшла 12.05.2025р.

УДК 669.162.22

doi.org/10.31498/2522-9990292025330258

Щербаков С. В., Черевко О. О.

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОРГАНІЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИКЛАДАННЯ ПРАКТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН

В статті зроблено акцент на необхідності трансформування змісту та методів викладання дисциплін вищої школи в зв'язку з викликами сучасності, пов'язаними з відсутністю можливостей організації очного навчання, коли освітні послуги надаються безпосередньо за місцем проживання чи тимчасового перебування. За таких умов самотійна робота з опанування матеріалів навчальних дисциплін стає на передній план та складає суттєвий відсоток від загального учбового навантаження. Слід означити основні ключові моменти переходу на дистанційну форму навчання. Особливої уваги потребує формування у студентів алгоритмів планування учбового процесу. В той же час і робота викладача потребує зміни методів подання інформації в бік більшої конкретики, практичності та орієнтації на аудиторію. З цього приводу мають бути переглянуті методичні матеріали з метою адаптації до більш самотійної роботи. Оцінка знань має максимально позбутися формальних підходів. Демонстрація та захист практичних робіт повинні бути публічними з залучанням всієї аудиторії студентів. Це сприяє підвищенню рівня активності та засвоєння матеріалів лекцій, зменшенню кількості нез'ясованих питань та помилок під час виконання завдань. Дуже важливими є міждисциплінарні зв'язки, тому що дистанційна форма освіти за відсутності матеріально-технічної бази потребує надання більш комплексних знань, особливо в області моделювання поведінки об'єктів та роботи спеціалізованого обладнання.

Отже, в даній роботі розглянуто можливості впровадження сучасних інформаційних технологій для організації практичної роботи студентів в умовах дистанційного навчання з обмеженим доступом до лабораторної бази. В якості прикладу представлено віртуальну лабораторну роботу з проектування локальної системи автоматичного регулювання з використанням програмованого логічного контролера (PLC). Наведено принципи математичного моделювання об'єкта та організації дистанційного управління засобами SCADA та web-технологій.

Ключові слова: дистанційне навчання, технічні дисципліни, методи викладання, інформатизація, самотійна робота, практичний досвід, віртуальний лабораторний практикум.

Постановка проблеми. У зв'язку з виникненням необхідності, яка може бути продиктована різними життєвими обставинами, наприклад, обмежені фізичні можливості,