

стижения, и недостатки сооружения Волховской гидроэлектростанции в развитии гидростроительства.

**Ключевые слова:** гидроэлектростанция, проект станции, строительство, Волховская ГЭС, инженер Г.О. Графтио.

**Mahobei K.M. Participation engineer G.O. Graftio in the construction of the Volkhov hydroelectric station (1917-1926).**

*This article examines the figure of Henry Graftio as Chief Engineer Volkhov's hydroelectric station. Designed Under his leadership one of the largest hydroelectric power plants that was part of a plan HOERLO. Defined the major achievements and shortcomings in the construction of Volkhov hydropower development hydroconstruction .*

**Keywords:** hydroelectric, plant design, construction, Volkhov hydroelectric engineer Hraftio.

УДК 629.42

Незліна О.А.

### ЗНАЧЕННЯ МЕТОДУ ЗВАРЮВАННЯ Є.О. ПАТОНА В ГАЛУЗІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

*Зроблено аналіз внеску Є.О. Патона в розвиток вітчизняного залізничного транспорту. Наведено основні розробки методу зварювання, а також наведені приклади його застосування на залізничному транспорті. Визначено важливість методу зварювання Є.О. Патона в галузі залізничного транспорту України.*

**Ключові слова:** метод зварювання, залізничний транспорт, внесок Є.О. Патона в розвиток електрозварювання.

Важко переоцінити внесок в розвиток вітчизняного електрозварювання відомого інженера, науковця Євгена Оскаровича Патона. Діяльність вченого у цьому напрямку була вражаючою і плідною, так, розроблений ним спосіб автоматичного зварювання під флюсом знайшов широке практичне застосування серед усіх галузей промисловості і народного господарства, зокрема й на залізничному транспорті.

Наукові роботи Є.О. Патона із зварювання на залізничному транспорті можна поділити на три напрями:

- зварювання рухомого складу;
- зварювання у колійному господарстві;
- зварювання у залізничному мостобудуванні.

Усі ці три напрями були тісно пов'язані із дослідженнями динамічної міцності зварних конструкцій рухомого складу, зварних рейкових стиків і зварних мостових конструкцій, адже вони зазнавали під час експлуатації дуже сильного динамічного навантаження.

З самого початку свого виникнення метод зварювання швидкими темпами завойовував досить велику популярність в різних галузях залізничного транспорту. У вагонобудуванні перехід від клепаних конструкцій до зварних відбувся ще в ті часи, коли властивості зварних швів ще не було досконало вивчено, а саме у першій половині 30-х рр. ХХ століття. Зварні

вагони одразу отримали низку переваг. Під час виготовлення одного пасажирського вагона потрібно було просвердлити 5 тисяч отворів і поставити стільки ж заклепок, які під час експлуатації постійно розхитувались і потребували ремонту. Зварні ж з'єднання скасовували ці операції і забезпечували економію металу, до того ж зварні з'єднання у порівнянні з клепами надавали конструкції більшої жорсткості, яка дозволяла додатково знижувати масу вагона і підвищувати його надійність.

У наступні десятиліття під керівництвом Євгена Оскаровича Патона в Інституті електрозварювання було закладено основи і знайдено шляхи для вирішення цих питань. А поки-що галузь зіткнулася із масовим руйнуванням зварних конструкцій вагонів вже через декілька років. Тому одними з перших напрямків роботи вченого в цій області стало дослідження виникнення тріщин у конструкціях вагонів і визначення шляхів боротьби із цим шкідливим явищем. Багаточисельні дослідження вченого показали, що вібраційна міцність зварних з'єднань не була однаковою і залежала від форми з'єднання і якості зварювання. Тріщини втомлюваності з'являлись у місцях концентрації напружень, тобто в місцях пор і непроварів, на початку флангових і лобових швів, особливо біля підрізів або кратерів, біля приварених накладок, ребер. В стикових швах тріщини з'являлись в самому шві, а в з'єднаннях з фланговими швами тріщини починались біля швів і поширювались по основному металу. До того ж, до основних причин появи тріщин було віднесено також погану якість зварних швів через невдалу конструкцію або погано організований технологічний процес зварювання з неправильним режимом зварювання, невдале використання великої сили струму, через що послаблювались з'єднання підрізами і створювались великі усадочні напруги, накладання надлишкової кількості наплавленого металу, погану якість основного металу, забрудненого домішками або зіпсованого неправильним процесом прокатування, а також жорсткість зварних з'єднань.

Стосовно цих виявлених причин Є.О. Патон підкреслював, що під час проектування конструкцій вагонів потрібно уникати великої кількості швів і розташовувати їх відносно характеру роботи з'єднання. З окремою увагою ставитись до перетину балок через те, що вони були найбільш вразливим місцем в конструкції, зокрема, перерізи балок повинні були відповідати діючому на них навантаженню. Вчений зазначав, якщо окрім вертикального вигину балка працювала ще на горизонтальний вигин і крутіння, то найкращим профілем ставав трубчастий переріз, а не швелерний профіль, як у інших випадках. В решіткових конструкціях вчений пропонував уникати ексцентриситетів у місцях прикріплення стійок і діагоналей до вузла, якщо діагоналі були сильно напружені. Додаткові напруження від ексцентриситетів при повторному навантаженні якраз і викликали тріщини втомлюваності на початку швів. І звичайно, особливу увагу на думку вченого потрібно було приділяти можливості здійснювати зварювання в зручному

положенні для того, щоб мати можливість забезпечити високу якість шва. Цілком було зрозумілим, що у різних місцях конструкції вагона допустимі напруження були різними, тому її конфігурація цілком залежала від кількості і характеру навантажень.

Міцність зварної конструкції мала ще й інший бік медалі, а саме, її жорсткість. Болтові з'єднання допускали деяку рухомість з'єднаних частин, клепані також, але вже меншою мірою. Зварні ж з'єднання ніякої рухомості конструкції не допускали. Через це в зварних з'єднаннях виникали додаткові напруження від жорсткості вузлів, які при частому повторенні навантажень викликали втомлюваність металу. Тому Євген Оскарович підкреслював, що для зварних вагонів не можна використовувати конструкції клепанних вагонів, неприпустимо також, на думку вченого було використовувати метал поганої якості через те, що під дією термічної обробки його якість ще більше знижувалась [1].

Окрему низку питань складала ідея застосування зварювання в криволінійних швах. Тривалий час існувала думка, що автоматичне зварювання можна було застосовувати лише в прямих і кругових швах, але ще існувало безліч криволінійних швів, як площинних, так і просторових, де можна було б застосовувати автоматичне зварювання. І у вагонобудуванні існувало безліч деталей з криволінійними швами, але здійснення зварювання таких швів видавалось складним, а іноді – неможливим. В Інституті зварювання під керівництвом Є.О. Патона було досліджено це питання і було доведено можливість застосування автоматичного зварювання в криволінійних швах [2].

Окремим видом рухомого складу на залізницях завжди були цистерни, які через свою конструкцію і масовість швидко стали досить підходящим об'єктом для впровадження автозварювання. Наприкінці 30-х рр. на всіх заводах всі операції із заготовлення листів і транспортування вже було механізовано, але збирання цистерн виконувалось вручну за допомогою найпримітивніших засобів. Патон вважав, що механізація процесу збирання і зварювання вимагала комплексного вирішення низки питань для того, щоб скласти суцільний технологічний процес.

Під час вирішення цього питання вчений наголошував, що для механізації збирання котлів залізничних цистерн потрібно було обов'язково використовувати спеціальні кондуктори для збирання, застосування яких могло б підвищити точність і знизити трудомісткість збирання. Під час проектування кондукторів переслідувалось дві основні мети – це перевести на автозварювання якнайбільшу кількість швів, а також розробити найбільш раціональну кількість циклів і робочих місць в кожному циклі для того, щоб отримати максимальний економічний ефект від застосування автозварювання. Для того, щоб більш наочно показати результати своєї роботи і остаточно переконати інженерів-залізничників у прогресивності нових розроблених методів, було проведено порівняння ручного і механізованого способів виготовлення котла існуючої, на той час, і раціоналізованої конс-

трукцій, яке показало, що сума витрат знизилась майже в 3,5 рази, що значно впливало на економію грошових ресурсів [3].

На початку 50-х рр. XX ст. застосування методу автоматичного зварювання у провідних галузях промисловості та народного господарства набуло широких масштабів. Залізничний транспорт був піонером у справі застосування зварювання для будівництва і ремонту рухомого складу та колії. Але, на жаль, на початку зазначеного періоду залізничний транспорт значно відставав від інших галузей у застосуванні нових, більш сучасних методів зварювання. Євген Оскарович зазначав, що на той момент на залізничному транспорті переважно так і використовували ручне зварювання електродами з крейдовим обмазуванням. Виявляється, що ще з 30-х рр. XX ст. вже з'явилися електроди з якісними товстими обмазками, але їх використання на залізничному транспорті було майже неможливим через те, що не було організовано централізоване виробництво електродів в достатній кількості. Звичайно, такий стан справ призводив до низької якості зварювальних робіт, що значно впливало на конструювання і ремонтні роботи рухомого складу, зокрема, доводилось знижувати допустимі напруги металу шва порівняно з основним металом. З іншого боку застосування ручного зварювання на залізничному транспорті призводило до низької якості робіт, малої продуктивності праці, а відповідно і до великих втрат через простої рухомого складу і повторні ремонти через неякісні роботи [4].

Звичайно, виходячи з практичної точки зору найкращим засобом для перевірки якості зварної конструкції вагона була його багаторічна експлуатація, але й цей метод мав свої суттєві недоліки. Зокрема, звертаючи увагу на динамічну міцність зварних конструкцій вагона, конструктори завжди брали курс на її збільшення, проте це одночасно збільшувало і вагу самого вагона. Окрім слабких місць, де таке збільшення міцності було необхідним, з'являлись ще й місця, спроектовані з надлишковою міцністю. І ось саме їх під час багаторічної експлуатації виявити не можна було. Також метод експлуатації не давав можливості виявити причини руйнування вагонів, і, звичайно, за часом і вартістю такий метод не був вигідним, адже за всіма законами конструювання до практичної експлуатації вже повинна приступати якомога довершена машина. Усі ці причини були досить важливими і змушували конструкторів проектувати вагони з великим запасом міцності [5].

Коли у вагонобудуванні, завдяки розробкам Є.О.Патона, було широко введено електрозварювання, виникло питання про необхідність дослідження зварних конструкцій вагонів у лабораторних умовах. Для цього створювались спеціальні стенди, на яких проводились випробування зварних конструкцій вагонів. Це був дуже правильний метод, адже він давав можливість виявити причини і умови руйнування вагонів, застосовувати й посилювати навантаження, виявляти місця не тільки з недостатньою, а й з надлишковою міцністю. В такому разі витрати на виготовлення дослідних ва-

гонів і на їх випробування були незначними, порівняно з тими прихованими витратами, які з'являлись на залізничному транспорті під час експлуатації конструктивно недосконалих вагонів. Ця ідея отримала широку підтримку як серед практиків, так і серед теоретиків вітчизняного вагонобудування, але із втіленням її у життя виникли й інші питання, які потребували наукового дослідження. Було визначено, що під час експлуатації на вагон діє два види динамічних навантажень: вібраційне навантаження через коливання всього вагона на ресорах та коливання усієї конструкції вагона та його окремих елементів як пружного тіла. Для того, щоб мати можливість експериментувати і розраховувати вагони на динамічні навантаження, потрібно було, перш за все, знати величину і кількість навантажень, тому що під час динамічної дії навантаження значення мала не лише величина, а й кількість її повторень [6].

Під час переходу від клепанних з'єднань в конструкціях вагонів до зварних було проведено для порівняння відповідні вібраційні дослідження, які довели, що зварна конструкція була більш стійкою до інерційних динамічних сил під час коливань, ніж клепана. Але й зварні конструкції вагонів нерідко також руйнувались, тому вчені звернули окрему увагу на явище втолюваності від вібрацій. Для дослідження цього явища спочатку було створено спеціальну вібраційну машину, а пізніше в Інституті електрозварювання й вібраційний стенд. В лабораторних умовах вібраційний стенд застосовувався для створення ефекту вагонних вібрацій, подібних до тих, які витримували вагони під час руху в складі поїзду і під час рушання з місця [7].

Звичайно, для найбільш точних результатів досліджувану конструкцію ставили в умови, наближені до експлуатаційних, а саме, в практиці удари мали певні особливості: а) вагон після удару рухався в напрямку удару; б) в момент удару вагон перебував між двома іншими вагонами, тобто усередині рухомого складу; в) удари отримували різні кінці вагона в різний час; г) удари мали стискаючий і тяговий характер; д) ударні навантаження мали різну величину. Усі ці особливості враховувались під час вибору умов ударних досліджень. Окрім цього важливими для досліджень були характеристики, які отримувались практично за допомогою вимірювальних приладів під час спеціальних поїздок на товарних потягах, а також шляхом аналізу пружних властивостей фрикційних апаратів автозчеплення, як елементів безпосередньо сприймаючих удар, а саме: а) кількість ударів; б) швидкість ударів; в) енергію ударів; г) прискорення при ударах; д) силу удару [8].

Співставляючи усі результати як на вібраційних, так і на ударних стендах зазначалось, що в експлуатаційних умовах ці навантаження діють на вагон одночасно. Тому важливим аспектом практичних випробувань вагона на міцність була ще й комплексність експерименту [9].

Провівши ґрунтовні дослідження у напрямку вивчення природи динамічних (ударних і вібраційних) навантажень на зварну конструкцію вагона, С.О. Патон приступив до вирішення наступного питання, а саме до пошуку

шляхів підвищення динамічної міцності зварних з'єднань під час будівництва та ремонту вагонів. Він зазначав, що зварні шви проявляли себе як різкі концентратори напруг на межах шва і основного металу. Тому великого значення отримало питання про зміцнення найбільш напружених ділянок зварного з'єднання і зменшення в них концентрації напружень. З метою визначення найкращого методу зміцнення зварного шва під керівництвом Є.О. Патона було проведено низку теоретично-практичних досліджень з метою запобігання руйнувань у конструкціях, виявлення слабких місць, а також дослідження конструкції вагонів, які були безпосередньо в експлуатації, і виявлення причин появи тріщин у зварних вагонах.

Зокрема, вчений зазначав, що зменшення концентрації напруг у місці переходу шва до основного металу може бути здійснене шляхом надання поверхні шва у її межі з основним металом більш плавного обрису, що могло бути досягнуто за допомогою різних видів механічної обробки поверхні шва, а також застосуванням таких методів зварювання, які б забезпечували отримання потрібного обрису.

З іншого боку обговорювалось питання про доцільність заміни одних видів швів іншими. Наприклад, у вагонних конструкціях заміна лобових і флангових швів точковими мала більші техніко-економічні переваги і часто обговорювалась серед вчених та інженерів. Для того, щоб внести ясність у можливість реалізації всіх цих ідей у виробництво зварних конструкцій вагонів і під час їх ремонту, під керівництвом Є.О. Патона було проведено низку досліджень у напрямку порівняння міцності зварних з'єднань. Результати досліджень показали, що для вагонних конструкцій, які розраховувались на великі ударні і вібраційні навантаження потрібно було використовувати все-таки з'єднання лобовими і фланговими швами через те, що вони мали більш високу втомлювану міцність, ніж зварні з'єднання, виконані точковими швами. До того ж дослідження показали, що зварні з'єднання з лобовими і фланговими швами при роботі їх на переріз мали також більшу ударну міцність, ніж зварні з'єднання з електрозаклепками. Тобто в вагонних конструкціях, які витримували сильні динамічні навантаження, потрібно було надавати перевагу з'єднанням стиковими і кутовими швами над точковими швами [10]. Так, зварювання точковим методом було найбільш технологічно і економічно вигідним, ніж зварювання кутовими швами, через збільшення продуктивності праці, економії матеріалів. Але, як довели дослідження, його можна було використовувати лише в конструкціях, працюючих на статичні навантаження. У вагонобудуванні точкові шви широко використовували на той час при виготовленні елементів жорсткого кузова вагона [11].

Також було доведено, що більш плавні обриси шва на межі його з основним металом значно підвищували втомлювану міцність зварного з'єднання. В умовах експерименту цей показник вдалось збільшити аж на 92%. Підрізи, які часто з'являлись в зварних з'єднаннях, ставали осередка-

ми тріщин, що значно зменшувало витривалість зварного з'єднання. Також більш плавні обриси шва на межі його з основним металом значно підвищували ударну в'язкість і знижували критичну температуру крихкості зварного з'єднання в його найбільш небезпечному місці – на межі шва і основного металу. А при конструюванні зварних з'єднань, працюючих на інтенсивне динамічне навантаження, було зроблено висновок, що потрібно надавати перевагу швам із вогнутою поверхнею. Правда Є.О. Патон зазначав, що для масового виконання таких швів ще потрібно було розробити спеціальні електроди, які б дозволяли отримувати шви з плавним переходом на основний метал [12].

Також Є.О. Патон займався питанням зварювання рейкових стиків. У 40-х рр. XX ст. ця проблема набула великих масштабів, бо мала дуже важливе економічне значення для залізничного транспорту, адже під час проходження коліс на болтових стиках здійснювались удари, які руйнівно діяли як на колію, так і на рухомий склад. Заміна болтових стиків зварними звичайно значно б зменшила витрати на ремонт колії і збільшення терміну служби рейок, до того ж зварні стики рейок позитивно б вплинули на збереження рухомого складу. Вирішення усіх цих питань проводилося в Інституті електрозварювання під керівництвом Є.О. Патона на протязі 1938 р., коли досліджувались термічна обробка і електричне нагрівання рейкової сталі, вишукувалось спеціальне електродне покриття для зварювання саме рейок, а також розроблялася досконала конструкція зварного рейкового стику.

Отже можна з впевненістю сказати, що Є.О. Патон зробив нецінений внесок в розвиток електродугового зварювання, а також зробив вагомий вклад в дослідження питання зварювання в галузі залізничного транспорту, та запровадження його на практиці.

### Література

1. Горбунов Б.Н. Причины появления трещин в сварных вагонах / Б.Н. Горбунов // Электросварка в вагоностроении. – К.: Изд-во АН УССР, 1939. – С. 27-45.
2. Казимиров А.А. Сварка криволинейных швов автоматом / Электросварка в вагоностроении / А.А. Казимиров. – К.: Изд-во АН УССР, 1939. – С.3-26.
3. Казимиров А.А. Механизация изготовления котлов железнодорожных цистерн / А.А. Казимиров. – К.: Изд-во АН УССР, 1938. – 80 с.
4. Патон Е.О. Вопросы применения автоматической и полуавтоматической (шланговой) сварки под флюсом / Е.О. Патон // Техника железных дорог. – 1950. – №7. – С. 20–23.
5. Раевский В.Г., Никольский Л.Н., Аснис А.Е. Значение динамических испытаний вагонов / В.Г. Раевский и др. // Исследования динамической



прочности сварных конструкций вагонов. – К.: Изд-во АН Укр. ССР. – 1949. – С.3–5.

6. Раевский В.Г. Вибрационные испытания вагонов на долговечность / Исследования динамической прочности сварных конструкций вагонов / В.Г. Раевский. – К.: Изд-во АН УССР. – 1949. – С. 50–82.

7. Раевский В.Г. Вибрационный стенд для испытания вагонов / Исследования динамической прочности сварных конструкций вагонов / В.Г. Раевский. – К.: Изд-во АН УССР. – 1949. – С. 6-30.

8. Никольский Л.Н. Ударные испытания вагонов на долговечность / Исследования динамической прочности сварных конструкций вагонов / Л.Н. Никольский. – К.: Изд-во АН УССР. – 1949. – С. 83-96.

9. Никольский Л.Н. Стенд для ударных испытаний вагонов / Исследования динамической прочности сварных конструкций вагонов / Л.Н. Никольский. – К.: Изд-во АН УССР. – 1949. – С. 31-49.

10. Крайчик М.М. Пути повышения динамической прочности сварных соединений при постройке и ремонте вагонов: Сборник статей по сварке при постройке и ремонте вагонов / М.М. Крайчик // Труды всесоюзного научно-исследовательского института железно-дорожного транспорта. – 1954. – Вып. 95. – С. 5-46.

11. Крайчик М.М., Обухов А.В. Прочность сварных точечных соединений, применяемых в вагоностроении: Сборник статей по сварке при постройке и ремонте вагонов / М.М.Крайчик, А.В. Обухов // Там само. – С. 84-131.

12. Раевский Г.В. Усовершенствованный сварной рельсовый стык и его прочность: Сборник статей по сварным рельсовым стыкам / Г.В. Раевский. – К.: Изд-во АН УССР. – 1940. – С. 8-37.

**Незлина Е.А. Значение метода сварки Е.О. Патона в области железнодорожного транспорта.**

*Сделан анализ вклада Е.О. Патона в развитие отечественного железнодорожного транспорта. Приведены основные разработки метода сварки, а также приведены примеры его применения на железнодорожном транспорте. Определены важность метода сварки Е.О. Патона в области железнодорожного транспорта Украины.*

**Nezlina E.A. There is a value of method of welding of E.O. Patona in area of ferrous-travelling transport.**

*The analysis of the contribution of Paton in the development of the domestic rail transport. The basic design method of welding, as well as examples of its use on the railway. Determined importance of welding method Paton in the field of railway transport of Ukraine.*