

המהנדס טיטוב – בונה אניות, אוטוידקט

בשנת 1894 נפטר באופן פתאומי אחד המהנדסים הרוסים המדהימים ביותר – פיֹטֶר טיטוב. אני רוצה להקדיש את השורות האלה לזכרו.

אביו של טיטוב נולד במשפחה של איכרים פשוטים, ועבד כמפעיל מכונות קיטור בספינות נהר. כשהגיע פיֹטֶר לגיל 12, התחיל האב לקחת אותו כשוליה לספינות במשך הקיץ, ולתקופת החורף שלח אותו לעבוד במפעל ספינות בעיר קְרוֹנְשְׁטַאדְט; כשהיה בן 16, סידר לו האב משרת פועל במפעל "נְבֶּסְקִי" בסנקט-פטרבורג. משם התקדם טיטוב במהירות – נהיה ראש צוות, אחר כך מנהל משמרת ואחר כך הפך לסגן מנהל המספנה. מנהל המספנה היה מהנדס אנגלי זקן בשם בֵּיין. ביין נפטר, וטיטוב הצעיר מונה למנהל המספנה.

בשנת 1881 המשרד להנדסה צבאית החליט לבנות בו-זמנית חמישים צוללות שפותחו על ידי סְטֶפֶן דִז'בֶּצְקִי, מהנדס ממוצא פולני, אציל המקורב למשפחת המלוכה. צוללות קטנות אלו הופעלו על ידי צוות של שלושה אנשים, שניים מתוכם הניעו את הצוללת בכוח רגליהם. ההרכבה הייתה צריכה להתנהל בסודיות מוחלטת במפעל מיוחד קטן; ייצור החלקים הועבר לבתי חרושת שונים.



הצוללת של דִז'בֶּצְקִי
המוזיאון המרכזי של חיל הים, סנקט-פטרבורג

גוף הצוללת היה מורכב משלושה גיליונות ברזל מעוקלים בעלי צורה מסובכת למדי. גיליונות אלה שורטטו בקנה מידה שונה ונמסרו לייצור בשלושה מפעלים שונים, כולל "נְבֶּסְקִי". שני מפעלים ניסו לייצר את הגיליונות ללא הצלחה, בזבזו הרבה חומר גלם ובסוף העבירו את ההזמנות למפעל "נְבֶּסְקִי". כך התרכזה בידיו של טיטוב כל העבודה. הוא אהב להיזכר בזה:

קיבלנו ממפעלים שונים הזמנות לגיליונות ברזל. היה צריך לחתוך אותם בצורה משונה כגון זו שמתקבלת כאשר קולפים תפוז. כל שרטוט היה בקנה מידה שונה, וחוף מזה המידות באחד מהם היו ביחידות רגל, ובאחרים – במטרים. ויש לא רק לחתוך אותם אלא גם לכבוש לפי השרטוט. אני חושב לעצמי: אין כל זה מקרה אף על פי שההזמנות הגיעו ממפעלים שונים. שרטוטי את כל השלושה בקנה מידה אחד והסתכלתי מה יקרה אם נצמיד אותם. התוצאה הייתה כמו אגוז ברזילאי גדול. אז, כמובן, עשיתי חפיפה כמו שצריך, התאמתי את הקצוות, כבשתי את שלושת הגיליונות לפי השרטוט והצמדתי ביחד. מגיע דִז'בֶּצְקִי עם איש סודו – מביט ומזדעק: "הרי זה סוד!" "איזה סוד" – אני אומר לו – "עדיף שתתנו לי גם לנקב חורים למסמרות אצלי במפעל, אחרת אתם לעולם לא תסיימו את העבודה עם מקדחות היד שלכם". כך עשיתי את הגיליונות, אחר כך סִמְרָרו אותם (חיברו באמצעות מסמרות) באותו מפעל סודי.

כדי להבין את הצעתו של טיטוב בעניין החורים, יש לזכור כי באותם הימים לא היו כלים חשמליים ואף לא פְּנִימְטִיִים (הפועלים מכוח האוויר הדחוס). המכונות במפעל הונעו על ידי כוח הקיטור, ואת כל השאר היה צריך לעשות בכלים ידניים.

בסביבות 1882 נפתחה מספנה גדולה – "מפעל פֶרְנֶקוֹ-רוסי". מנהל המפעל, מהנדס צרפתי בשם דֵיבּוּאֵי, חיפש מהנדס ראשי למפעל החדש. הוא התייעץ עם דז'בצקי המוכר לו מימי לימודיו בפריז. דז'בצקי המליץ על טיטוב. כך הפך טיטוב למהנדס ראשי ומנהל עבודה של המספנה הגדולה למרות שלא סיים אפילו בית ספר יסודי. ניסיונו המעשי היה אדיר.

טיטוב התחיל לבנות שתי אניות Vityaz ו-Rynda. אלו היו הראשונות שנבנו מפלדה מיוחדת בעלת עמידות גבוהה במי ים, לא מפלדה רגילה. טיטוב נאלץ לפתח את שיטות העיבוד ובו בזמן את אמצעי בטיחות העבודה: גם עכשיו עיבוד פלדה כזאת נחשב למסובך למדי, אז היה צריך להמציא את הכול מהתחלה.

במהלך ההורדה למים של אחת האניות (Vityaz) אירעה תאונה. טיטוב לא היה אשם בה כלל וכלל: מסלול ההורדה לא הועמק דיו, שְׁדְרִית האנייה שרטה את הקרקעית, וההגה נקרע מהגוף. היה צריך להכניס את האנייה למבדוק ולהתחיל בעבודה מורכבת כדי להחליף את ההגה. כאן באו לידי ביטוי כל הניסיון והתושייה של טיטוב. מעץ, הוא בנה קֶסוֹן (תא לחץ) התואם את תבליט ירכתי האנייה, שאב משם את המים ותוך זמן קצר יחסית השלים את העבודה. כעבור 20 שנים, בזמן מלחמת רוסיה-יפן, בוצעה עבודה דומה בנמל פורט-ארתור. שם תוקנו ללא מבדוק שלוש אניות אשר נפגעו בהתקפת טורפדו יפנית.



אניית-שריון
"הקיסר ניקולאי הראשון" (1889)

עם השלמת הבנייה של "Rynda" ו-"Vityaz" קיבל המפעל הזמנה לבנות אניית-שריון שנקראה "הקיסר ניקולאי הראשון". כאן המציא טיטוב מספר שיטות מקוריות. החשובה ביותר והשפתנית ביותר הייתה בניית האנייה ללא פיגומים. במקום פיגומים הוא השתמש בשלד הפנימי של האנייה עצמה. חסכון המפעל בעץ ובכוח העבודה הסתכם בשווי של עשרות שנות-אדם. אך זה דרש אנרגיה יוצאת דופן מטיטוב עצמו. הוא היה צריך לסמן במו ידיו כל חור וכל מקום חיבור:

לא היו בנמצא מהנדסים אשר מסוגלים לעזור לו. את העבודה הזאת הוא ביצע בערב ובלילה כי במהלך שעות העבודה היה עסוק לגמרי בעבודה השוטפת.

אני זוכר היטב את הזמן זה. ביולי 1887 נשלחתי למפעל הפרנקו-רוסי להתנסות בעבודות של בניית אניות. לבוש במדים מלאים, הגעתי למפעל והכרתי מספר מהנדסים. לאחר מכן הלכתי



ויקטור נְסֶצוּב. האבריס (1898)
אֵילֵה מוּרוֹמֶץ – במרכז

למנהל. המנהל קיבל אותי בסבר פנים יפות. הוא היה דומה לאביר רוסי: הצייר נְסֶצוּב היה יכול לעשות דוגמה לדמותו של אֵילֵה מוּרוֹמֶץ האגדי בתמונה המפורסמת "האבריס". המנהל ישב ליד שולחן הכתיבה שלו בחדר קטן, לא יותר מ-6 מטרים רבועים. לאחר ששמע מה מעניין אותי, הוא אמר שכל מה שיש במפעל פתוח בשבילי תמיד, ושככל שאלמד יותר הוא ישמח יותר. זה היה פּיוֹטֶר טיטוב. עד מהרה התקרבונו למרות ההבדל בגיל (הוא היה מבוגר ממני ב-20 שנים) ואחר כך גם התיידדנו.

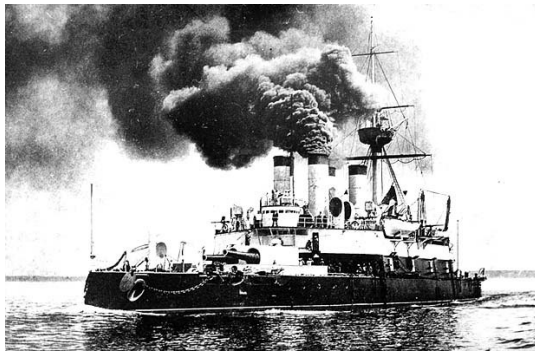
במהלך הבנייה של "הקיסר ניקולאי" טיטוב יישם שורה של שיפורים שהובילו לדיוק ואיכות גבוהים יותר מבלי להגדיל את עלות העבודה, ולפעמים אף הוזילו אותה. כדוגמא, אני מציין את ניקוב החורים. מקום החור בגיליון סומן על ידי מֶדְגֶש (körner) – אֶמְל עם חוד עגול קטן שהיו מכים עליו בפטיש יד. ואחר כך שמו את הגיליון במכונת הניקוב וניקבו את החור. טיטוב הוסיף

שלב ביניים: אחרי הסימון, בא פועל אחר עם קורנס והכה על מדגש גדול יחסית, כך שנוצר מכתש בעל קוטר כ-6 מ"מ ועומק כ-4 מ"מ. המקב של מכונת הניקוב נכנס למכתש הזה וניקב בדיוק איפה שהיה צריך. היום מלמדים שיטות כאלה בבית הספר, אך מישהו היה צריך להמציא אותן. דוגמה אחרת. כאשר קודחים חור, הרבה פעמים צריך לא רק לקדוח אלא גם ליצור שקע בצורת קונוס בפתח החור (countersink). טיטוב הציע לחבר למקדחה עם שקען (כעין מקדח רחב) מוט עם מעצור שלא נותן לשקען לרדת יותר ממה שצריך. כך שהפועל פשוט לחץ על הידית והשקען נעצר במקום הדרוש. ברור כי בדרך זו העבודה התבצעה במהירות וללא צורך בתשומת לב מורטת עצבים, וכל החורים יצאו זהים. היום השיטה הזאת כל כך נפוצה שכבר קשה להעריך אותה כראוי.

טיטוב נהנה מכבוד רב ומסמכות בלתי מסויגת בקרב הפועלים. הפועלים הרי ראו אותו כאיש משלהם, כמי שהכיר כל עבודה ללא יוצא מן הכלל והיה מסוגל לבצעה בצורה מושלמת. לעתים קרובות היה ניתן לראות כיצד טיטוב ניגש לפועל צעיר חסר ניסיון, לוקח ממנו, למשל, פטיש ואזמל, ומראה כיצד יש להחזיק את האזמל, כיצד להכות בפטיש וכן הלאה. אגב, במקרה זה שבבי המתכת שלו הסתלסלו בצורה כל כך יפה, שאפילו הפועלים המנוסים ביותר היו מתפעלים מעבודתו.

שיטות העתקה עוד לא היו אז. שרטוטים מקוריים שהוגשו לאישור על ידי שר או פקידים בכירים אחרים, בוצעו על נייר בדיו וצבע. מטרת השרטוטים הייתה לקבל את האישור המיוחל. לכן בשרטוטים שקיבלנו, כפתורים על רהיטי החדר של מפקד הצי היו לעתים מפורטים יותר מהפרטים הטכניים החיוניים. כל שרטוטי העבודה בוצעו על ידי המפעל עצמו, וכאן כולם התפעלו מטיטוב. כל חדר השרטוט התמקם בחדר של כ-30 מ"ר, והיו שם שבעה שולחנות שרטוט. לכל פריט, רכיב והתקן – מתלה היגוי, תושבת, פיר וכו' – טיטוב שרטט סקיצה עם מידות. הוא שרטט בעט על נייר משובץ רגיל, תמיד במהירות יוצאת דופן. אחרי שהעביר את הסקיצה למהנדסים, הוא היה ניגש אליהם מדי פעם כדי לתקן או להוסיף פרטים.

דיוק טביעת עינו היה מדהים. כשקבע עובי של קורה, תורן, דופן וכו', הוא אף פעם לא הביט בספרי העזר אשר עמדו על המדף במשרדו. ואין צורך לומר שהוא לא עשה חישובים (ולא ידע לעשות אותם). ניקולאי קוטייניקוב היה באותה עת האדריכל הימי המלומד ביותר בצי שלנו. הוא ניסה בהתחלה לבדוק על ידי חישובים את המידות שקבע טיטוב. אבל עד מהרה הוא הבין שזה מאמץ סרק – החישוב רק אימת את מה שטיטוב קבע לפי טביעת עינו.



אניית-שריון "Navarin" (1891)

קוטייניקוב שם לב אליי מהר – הייתי בקיא במתמטיקה הרבה יותר מאשר שאר עוזריו. לכן החלו להגיע אליי חישובים מורכבים יותר. גם טיטוב שם לב לזה ולפעמים ביקש ממני: "רב-נגד, חשב לי דבר אחד." ב-1890 סיימתי את האקדמיה הימית. באותה עת בנה "מפעל פרנקו-רוסי" את אניית-השריון בשם "Navarin". הרביתי לבקר את טיטוב ולראות את חידושי. פעם אחת הוא קורא לי ואומר:

"אתה עכשיו פרופסור, גם הדרגה שלך אחרת, אך אני עדיין אקרא לך רב-נגד. תקשיב, רב-נגד, אני רואה כי אתה מומחה בחישובים. תלמד אותי בבקשה את תורת החישובים האלה כמה שאני צריך. רק אל תספר לאיש – הרי ילעגו לי."

כך התחלנו ללמוד מתמטיקה בכל ערב של רביעי ושבתי. למותר לציין כי רק לעתים רחוקות ראיתי תלמיד כה מוכשר, ומעולם לא פגשתי תלמיד כה חרוץ. התחלנו מאלגברה יסודית. טיטוב הבין מהר שאלגברה היא הכלי המתמטי הבסיסי, והחליט שחייבים ללמוד לשלוט בכלי הזה במהירות, בביטחון ובאופן מדויק. כשהיה חוזר בערב מהמפעל, הוא היה מתיישב עם ספר

תרגילים ופותר אותם בזה אחר זה עד מאוחר בלילה כדי להתאמן. כך למדנו – תוך שנתיים בלבד – אלגברה יסודית, טריגונומטריה, גיאומטריה אנליטית בסיסית, חשבון דיפרנציאלי ואינטגרלי, סטטיקה, תורת חוזק החומרים וגם מבוא לתורת הספינה (סטטיקה ודינמיקה של הספינה). טיטוב היה אז בן 48-49 שנים. הוא שמח במיוחד לאחר שלמד טריגונומטריה, לוגריתמים ושימוש בסרגל חישוב, שהיה עדיין די נדיר.

כשהגענו סוף סוף לתורת החוזק ולניתוח של קורות, עמודים וכו', הייתה הבנייה של "Navarin" לקראת סיומה. טיטוב נהג לומר לי: "נו, רב-נגד, בוא נחשב קורה או עמוד". אחרי סיום החישוב הוא היה פותח את מגרת שולחנו, מוציא משם את הסקיצה המתאימה ואומר: "כן, רב-נגד, הנוסחאות שלך נכונות: אתה רואה, אני קבעתי את המידה לפי העין – מסתדר". רק כעבור שמונה עשרה שנה, כאשר כיהנתי בתפקיד הבכיר ביותר בתחום בניית האניות, הערכתי את המשמעות האמיתית של המילים הללו. מהנדס אמיתי צריך להאמין לעיניו יותר מאשר לכל נוסחה; הוא צריך לזכור את דבריו של הפילוסוף וחוקר הטבע האקסלי (Huxley): "מתמטיקה דומה לרחיים, היא טוחנת את כל מה שמכניסים לתוכה." מהנדס אמיתי צריך לראות קודם כל את טיב הקלט הזה.

בשנת 1891 כמדומני, הגיע לסנקט-פטרבורג המהנדס הצרפתי המפורסם. דה-ביוסי. דה-ביוסי הזקן שימש כיו"ר הדירקטוריון של "מפעל פרנקו-רוסי", במשך שנים רבות ניהל את בניית האניות של חיל הים הצרפתי והיה חבר באקדמיה למדעים של פריז.

למותר לציין כי הוא ביקר במספנה שבנו בה את "Navarin". דיובואי, מנהל המפעל, רצה לעבור במהירות במספנה ולהוביל את האורח לאיזושהי ארוחת בוקר חגיגית. אך לא כך יצא. הזקן הבחין מיד כי הבנייה מתבצעת תוך שימוש באמצעים בלתי-שגרתיים, מקוריים. הוא השאיר לדיובואי תפקיד של מתורגמן בלבד והחל להתעמק בכל הפרטים תוך שהוא מתחקר את טיטוב שתי וערב. הוא אף שכח מארוחת הבוקר וטיפס בכל מקום באנייה במשך כארבע שעות. בפרידה הוא לקח את ידו של טיטוב ובלי לשחרר אותה, אמר לדיובואי: "תרגם נא למהנדסך את מילותי. מזה 48 שנים אני בונה אוניות לחיל הים הצרפתי, הייתי במספנות בכל העולם, אבל באף מקום לא למדתי כל כך הרבה כמו שלמדתי היום." טיטוב התרגש כמעט עד דמעות.

בשנת 1892 או 1893 הוציא חיל הים מכרז לפרויקט של אניית-שריון לפי מפרט מסוים. נקבעו שני פרסים גדולים למדי. פרויקטים רבים הוגשו למכרז, והוועדה הטכנית העניקה פרס ראשון לפרויקט שכונה "הבלתי-מנוצח" ופרס שני – לפרויקט שכונה "קרמלין". פותחים את המעטפה עם הכינויים וקוראים: מגיש הפרויקט "הבלתי-מנוצח" – מהנדס "מפעל פרנקו-רוסי" פיטר טיטוב; מגיש הפרויקט "קרמלין" – מהנדס "מפעל פרנקו-רוסי" פיטר טיטוב.

הייתה כאן סצנה אילמת, מרשימה יותר מאשר הסצנה האחרונה במחזה "רביזור" של גוגול. הרי רבים מחברי הוועדה הטכנית התייחסו לטיטוב בזלזול, אף אמרו עליו כי הוא כותב את המילה 'מהנדס' עם ש"יין כדי לעשות רושם. והנה ההפתעה הזאת: שני הפרויקטים שלו – מקוריים, מתוכננים היטב, משורטטים בצורה מושלמת ונתמכים בכל החישובים הנדרשים – שניהם קיבלו את הפרסים הגבוהים ביותר. איש מהם לא ידע כנראה על לימודיו. על כל פנים, איש לא העלה על דעתו כי אדם עובד מסוגל בגיל כזה לרכוש מאפס השכלה הנדסית ברמת האוניברסיטה תוך שנתיים בלבד.

את הפרסים תרם טיטוב במלואם, לבית הספר להנדסה ימית כמדומני. אך לבנות את האניות לא זכה – בלילה שבין 15 ל-16 באוגוסט 1894 הוא נפטר באופן פתאומי בגיל 51 כשהוא בשיא כוחו וכשרונו.

פורסם בירחון חיל הים של ברה"מ "ידיעון ימי" ב-1940

עיבוד לעברית: יהושע סוקול, 2015