ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1997

Seria: ELEKTRYKA z. 157 Nr kol. 1357

Andrzej M. PAWLAK

ROZWIJANIE TECHNOLOGII WRAZ Z KLIENTAMI CENTRÓW BADAWCZO-ROZWOJOWYCH

PRZEMÓWIENIE Z OKAZJI WRĘCZENIA NAGRODY IRE

Skuteczna implementacja technologii stawia pracownikowi naukowemu wyższe wymagania niż wprowadzanie nowych idei - narzuca ona partnerstwo, konkurencyjność, wytrwałość i dążenie naprzód w dziedzinie techniki.

STRESZCZENIE. W dzisiejszych czasach do osiągnięcia sukcesu w dziedzinie wprowadzania innowacji konieczna jest ciężka praca, praca zespołowa, upór w przezwyciężaniu trudności i zdolność dostrzegania i wykorzystywania nowych możliwości. Główną ideą jest tu ścisłe powiązanie produktu i tworzących go ludzi z jednostek operacyjnych na każdym etapie badań i rozwoju (BiR).

Obecnie rozwój technologii opiera się na działaniu zespołowym. Głównymi postaciami są naukowcy, konstruktorzy, technolodzy i dostawcy.

Przy tym podejściu zespół innowatorów już na etapie wstępnym BiR jest zmuszony godzić rozwiązanie techniczne z wymaganiami rynku i możliwościami technologicznymi. Wczesne przemyślenie tych spraw powoduje, że szanse implementacji technologii wzrastają wykładniczo przynosząc korzyść zarówno klientom, jak i przedsiębiorstwu.

Wykorzystując moje doświadczenie zdobyte przy rozwiązywaniu projektów badawczych, które weszły do produkcji masowej, chciałbym przedstawić działania, które naukowcy powinni uwzględniać w swojej pracy. Przedstawię je krótko w tym artykule.

PARTNERSTWO

1. PODJĘCIE KONTAKTÓW OSOBISTYCH

Jeszcze przed zdefiniowaniem zadań projektu ważne jest nawiązanie kontaktów osobistych z ludźmi z tych działów przedsiębiorstwa, które są potencjalnymi odbiorcami projektu badawczego. Naukowcy powinni jak najczęściej spotykać się z tymi ludźmi, uzyskać ich akceptację i co najważniejsze - zrozumieć ich potrzeby i problemy.

Ważne jest również nawiązanie kontaktu z inżynierami właściwego szczebla. Wskazana jest wcześniejsza współpraca z ludźmi, którzy będą stanowić część zespołu pracującego nad projektem.

2. WCZESNE USTALENIE SKŁADU ZESPOŁU

Ważną rzeczą jest wczesne wciąganie do prac nad projektem jego przyszłych uczestników, nawet już na etapie powstawania idei. Jest to bardzo istotny moment okresu realizacji projektu. Jest to czas, kiedy zespół wspólnie generuje bogatą gamę pomysłów, dochodząc w końcu do jasnego sformułowania celu i środków potrzebnych do jego osiągnięcia.

Komunikacja wzajemna jest istotna nie tylko w początkowym okresie tworzenia projektu. Również w trakcie jego rozwijania wzajemna wymiana pomysłów przynosi wspaniałe efekty. Przede wszystkim każdy traktuje projekt jako swój własny, z czym wiąże się wzrastające poczucie odpowiedzialności. Nie mniej ważne, a może nawet ważniejsze jest to, że wkład zespołu reprezentującego różnych „udziałowców" znacznie wzbogaca treść projektu. Naukowcy mają tendencję do koncentrowania się na działaniu produktu, natomiast konstruktorzy i technolodzy skupiają się zarówno na formie, jak i na działaniu. Wskazane jest możliwie wczesne wzięcie pod uwagę wymagań produkcyjnych, aby opracować takie rozwiązania, które uprości technologię i obniży jej koszt do minimum. Można to uzyskać najefektywniej w toku projektowania, a nie wtedy, gdy przyjęte zostało już ostateczne rozwiązanie.

W General Motors mamy na szczęście dobrze określony Proces Rozwoju Pojazdów. Proces ten składa się z czterech etapów z jasno określonymi poszczególnymi celami i punktami przejścia. Ułatwia to każdemu uczestnikowi procesu produkcyjnego jasne zrozumienie poszczególnych celów oraz rozkładu prac w czasie. Pozwala to wynalazcom z GM na wkraczanie z technologią w nowy program dotyczący pojazdów we właściwym czasie.

Na samym początku mamy etap, który można by nazwać „burzą mózgów". Na tym etapie ludzie wymieniają między sobą pomysły i tworzy się zespół mający wypracować wizję nowej koncepcji technologicznej. Jeśli zespół powstanie na tym etapie, są duże szanse na to, by był on silny, dobrze przygotowany i by posiadał doświadczenie we wszystkich dziedzinach potrzebnych dla rozwoju projektu.

Należy docenić poczucie współodpowiedzialności za projekt każdego członka zespołu, gdyż jest ono czynnikiem krytycznym, jeśli chodzi o osiągnięcie sukcesu. Partnerstwo nie powinno ograniczać się do dzielenia tylko odpowiedzialności, każdy członek zespołu powinien mieć także udział w korzyściach. Jeśli np. nowe rozwiązanie ma zdolność patentową, patent powinien być zgłaszany przez zespół jako całość. Jeśli badania są dokumentowane, zespół powinien współpracować przy pisaniu artykułów. Większość inżynierów praktyków nie ma zbyt wielu możliwości brania udziału w tworzeniu literatury technicznej. Ich współautorstwo podwyższa jakość artykułu i umacnia więzi między członkami zespołu. Taka współpraca nie ogranicza się często do samego projektu i stwarza warunki do przyszłej współpracy.

KONKURENCYJNOŚĆ

3. PROJEKT POWINIEN BYĆ WYSOCE KONKURENCYJNY

Ze względu na dużą konkurencję należy dążyć do tego, by projekt dobrze się sprzedawał. Środkiem do tego jest dążenie do osiągnięcia najwyższego światowego poziomu. Jednakże samo dążenie nie wystarcza. Należy planować osiągnięcie takiego poziomu, by mógł on być uznany za najwyższy światowy w chwili wejścia projektu w życie. Dla mnie, człowieka z branży motoryzacyjnej, cel ten oddalony jest o cztery do pięciu lat. Tyle czasu zajmuje opracowanie nowego systemu, który dopiero wtedy będzie musiał konkurować z innymi technologiami.

Żeby sprostać temu zadaniu, należy zastosować, a czasem też opracować najnowocześniejsze rozwiązania. Zapewnia to prawie na sto procent czołową pozycję w danej dziedzinie i znaczne zdystansowanie konkurentów.

Mamy oczywiście do czynienia zarówno z konkurencją wewnętrzną, jak i zewnętrzną. Konkurencja wewnętrzna jest czymś, czemu trzeba stawiać czoła na co dzień. Nad każdym projektem pracują różne grupy opracowujące rozmaite zagadnienia, tak by uzyskać określone wyniki. Pomimo że główną moją dziedziną są zagadnienia elektromagnetyzmu, konkuruję z innymi ludźmi opracowującymi zagadnienia związane z systemami hydraulicznymi, pneumatycznymi i mechanicznymi. Jest to normalne przy pracach rozwojowych. Jeśli zespół jest dobrze dobrany i ma jasno określone cele średnio- i długoterminowe, to udaje się zwyciężyć w tej konkurencji.

Konkurencja zewnętrzna jest jeszcze bardziej twarda. W mojej dziedzinie konkurencja zagraniczna ze strony Europejczyków i Japończyków jest ostra i bezlitosna. Tak więc muszę znać na bieżąco wszystkie nowości z mojej dziedziny.

4. WYKORZYSTANIE NAJLEPSZYCH DOSTĘPNYCH NARZĘDZI ANALITYCZNYCH

Inną drogą zapewnienia konkurencyjności swego projektu jest korzystanie z najlepszych narzędzi analitycznych tak przy tworzeniu, jak i ocenianiu i ulepszaniu systemu. Obecnie mamy to szczęście, że możemy korzystać przy projektowaniu i optymalizacji struktury systemu z powstających wciąż nowych narzędzi i wyszukanego oprogramowania. Dają nam one również możliwość analizy pracy systemu zarówno w stanie statycznym, jak i dynamicznym.

Byłoby nierozsądne, gdybyśmy nie korzystali z tych narzędzi, zwłaszcza że możemy być pewni, że używa ich konkurencja. Dzięki tym narzędziom mamy możliwość przejścia do etapu budowy prototypu ze sprawdzoną już koncepcją. Z mego doświadczenia wynika, że takie postępowanie pozwala zbudować prototyp pracujący zgodnie z oczekiwaniami zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i w rzeczywistych.

W moim przypadku rzeczywistość to samochód, który musi działać dobrze w szerokiej gamie warunków stwarzanych przez środowisko i w różnych sytuacjach. Prezentacja działającego prototypu jest bardzo istotna do uzyskania sukcesu projektu; jest ona warunkiem sprzedaży projektu działom produkcyjnym.

5. PRODUKT MUSI BYĆ MOŻLIWY DO WYKONANIA

Następnym istotnym punktem, jeśli chodzi o możliwość sprzedaży projektu, jest jego produkcyjna realność. Aby uzyskać akceptację produkcyjną systemu, musi on być prosty, solidny i łatwy do wykonania za dobrą cenę. Lecz należy pamiętać, by prostota nie wzięła góry nad koncepcjami. Te ostatnie mogą być nawet wyszukane z naukowego punktu widzenia. Przykładem tego może być system Magnasteer. Jest to system układu kierowniczego, który powstał wspólnym wysiłkiem. Debiut jego w GM miał miejsce w roku 1994 w Oldsmobilu Aurora i Buicku Riviera. Koncepcja Magnasteeru jest zaawansowana technologicznie, lecz równocześnie prosta w produkcji. Takie rozwiązania nie przychodzą bez dużego wysiłku. Sercem tego systemu jest serwomechanizm rotacyjny, który początkowo składał się z 17 części. W miarę rozwoju udało się nam zredukować tę ilość do trzech zasadniczych części. Było to rzeczywistym ulepszeniem konstrukcji, które uzyskaliśmy łącząc wykorzystanie najnowocześniejszych technologii z pracą zespołową.

WYTRWAŁOŚĆ

6. NALEŻY CZUWAĆ NAD PROJEKTEM

Zachęcam każdego badacza, który pragnie, by jego pomysły technologiczne weszły do produkcji masowej, aby stale śledził przebieg prac swoich współpracowników. W środowisku naukowym pojawił się nowy czynnik, jakim jest docenianie sporów między konstruktorami i technologami, które są codziennością w pracy zespołu. Jako badacze odsunięci daleko od codziennego zgiełku świata produkcji nie zawsze rozumieliśmy, że jeśli nie dotrzymamy terminu, nasz projekt zostanie przesunięty z początku na koniec kolejki, a nawet może zostać odwołany.

Ludzie zatrudnieni przy produkcji mają niewiele, albo nie mają w ogóle czasu na rozwiązywanie problemów badawczych, które narastają w procesie rozwoju projektu. Stałe czuwanie nad projektem jest sprawą działu badawczego. Badacz powinien stale obserwować proces implementacji projektu i w odpowiednich momentach udzielać pomocy.

Oto jest lista sposobów wspierania członków zespołu zaangażowanych w pracach badawczych i technologicznych.

* Należy chronić swój projekt przed konkurencją. Należy spodziewać się rywalizacji na każdym etapie opracowywania projektu począwszy od etapu koncepcyjnego do uruchomienia produkcji.
* Rozwiązuj problemy punktualnie i szybko we wszystkich etapach realizacji projektu. Na etapie wdrożeniowym badacz powinien pomagać ludziom zatrudnionym przy produkcji osiągnąć możliwie najlepszy efekt. Jest to istotne, jeśli chcemy, by nasz projekt osiągnął sukces finansowy. Należy pamiętać, że najlepsza światowa technologia nie zapewni sukcesu, jeśli jest zbyt kosztowna.

Każde nowe rozwiązanie wymaga zastosowania nowej technologii. Należy pamiętać, że partnerzy biorący udział w pracach wdrożeniowych mogą nie mieć wiedzy i doświadczenia do przezwyciężania powstałych trudności technicznych. Poświęcają oni większość czasu na zdobycie wiedzy potrzebnej do osiągnięcia najlepszego efektu produkcyjnego. Natomiast badacz powinien służyć posiadanymi przez siebie doskonałymi narzędziami analitycznymi, gdy wystąpią takie trudności. Ma także większą wiedzę o zachowaniu się systemu. Współuczestnicząc w uruchamianiu produkcji, badacz może wspierać projekt, przeprowadzając badania parametryczne rozwiązań alternatywnych i przeprowadzać ocenę różnych sposobów realizacji procesu, warunków i materiałów.

7. NALEŻY BYĆ ELASTYCZNYM

Elastyczność jest ważną cechą dobrego zespołu pracującego nad rozwojem produktu. W tym miejscu chciałbym wyraźnie odróżnić wytrwałość i upór. Rozsądny i wytrwały zespół jest w stanie przewidzieć i ominąć trudności i wąskie gardła pojawiające się w miarę postępowania naprzód z projektem. Natomiast zespół, który określiłbym jako uparty, usiłowałby wprost zwalczać i przezwyciężać trudności. Uważam, że wytrwałość jest cechą pożądaną, natomiast upór zmniejsza efektywność. Wszyscy wiemy, co daje walenie głową w mur. Albo się przebijesz, albo spowodujesz upadek swego projektu. Dlatego osobiście uważam, że elastyczność jest ważna przy rozwijaniu technologii, choć czasem wydaje się, że powoduje ona opóźnienia. Zwiększa jednak szanse na sukces.

Na przykład, gdy przystępowaliśmy do rozwijania systemu Magnasteer, istniało kilka rywalizujących ze sobą koncepcji realizacji serwomechanizmu rotacyjnego. Najpierw zaczęliśmy od projektu dyskowego, który jednak nastręczał wiele trudności produkcyjnych, jeśli chodziło o tolerancje. Następnie przeszliśmy do idei pręta z kłem z wykorzystaniem nowoczesnej technologii metali sproszkowanych. To rozwiązanie okazało się zbyt kosztowne. Ostatecznie połączyliśmy elementy obu rozwiązań i otrzymaliśmy cylindryczny serwomechanizm rotacyjny. Nie usiłowaliśmy przeforsować żadnego z kolejnych rozwiązań. Wykazaliśmy dużą elastyczność i poszukiwaliśmy za każdym razem nowego rozwiązania. Zostaliśmy wynagrodzeni, gdyż znaleźliśmy rozwiązanie optymalne i łatwe w realizacji.

WZRASTANIE TECHNICZNE

8. NALEŻY POSZERZAĆ ZAKRES SWOJEJ WIEDZY

Jest to jeden z najbardziej krytycznych czynników decydujących o sukcesie. W GM na szczęście przewidziany jest czas na „pracę domową" przed przystąpieniem do realizacji projektu. Zachęcam każdego do wykorzystywania tego, gdyż procentuje to w miarę pojawiania się zagadnień technicznych przy realizacji projektu. Dobrze jest poświęcić trochę czasu na poznawanie nowych dziedzin, przegląd literatury i istniejących patentów, tak by być na bieżąco, jeśli chodzi o aktualny stan wiedzy. Tylko w ten sposób możesz się spodziewać, że twoje własne projekty będą na światowym poziomie.

Zaraz po rozpoczęciu pracy w General Motors zajmowałem się silnikami skokowymi. Następnie przeszedłem do szybkich układów wtryskowych; dalej zająłem się sensorami zarówno tymi o stałej, jak i tymi o zmiennej reluktancji. Następną moją dziedziną stały się serwomechanizmy rotacyjne i w ostatnim czasie cewki przekaźnikowe. Za każdym razem wchodząc w nową dziedzinę byłem „nowym uczniem w klasie", szybko jednak uczyłem się, co weryfikowały postępy w realizacji tych projektów. Zawsze wykorzystywałem nabytą wcześniej wiedzę w dziedzinie elektromagnetyzmu.

W odrabianiu „pracy domowej" lubię zajmować się równocześnie kilkoma potencjalnymi projektami. Kiedy jeden z nich staje się bardziej obiecujący niż inne, można zawęzić swoje zainteresowania do tego projektu.

9. NIE NALEŻY OBAWIAĆ SIĘ POŁOŻYĆ NA SZALI SWOJEJ ZAWODOWEJ REPUTACJI

Nie możesz się spodziewać, że zarząd, a w szczególności ci, co są odpowiedzialni za sprawy finansowe, zainwestują miliony dolarów w twoje badania, o ile nie przekonasz ich, że sam wierzysz w pełni w swoje idee. Jeżeli twój zespół włożył maksimum wysiłku w opracowany system lub technologię, nie możesz zawahać się położyć swej wiarygodności, a nawet swojej reputacji zawodowej na szali. Zaufanie jest najbardziej charakterystyczną cechą silnego zespołu. Ma ono kluczowe znaczenie, aby projekt po fazie badawczej wszedł do produkcji.

SEDNO SPRAWY

Przedstawiłem tu pewne działania, które pozwoliły zespołom rozwojowym w pracach, w których uczestniczyłem, wprowadzić nowe rozwiązania technologiczne do produkcji masowej.

Jednakże sprawą kluczową jest to, że nie wolno nigdy zapominać o istocie rzeczy. Należy tu podkreślić potrzebę zorganizowania zespołu oddanego pracy, konkurencyjnego, wytrwałego i mającego wiarę w znaczenie rozwoju technologicznego. Jeżeli Wasz zespół posiada wszystkie wymienione cechy, to uda się bez wątpienia osiągnąć sukces w zakresie rozwoju konstrukcji i wprowadzania nowych technologii do produkcji.

Tekst polski zredagowała dr inż. Krystyna Stec

DEVELOPING TECHNOLOGY WITH R&D CUSTOMERS

IRI ACHIEVEMENT AWARD ADDRESS

Successful implementation of technology requires more from a researcher than new ideas - it requires partnership, competitiveness, persistence, and technical growth.

OVERVIEW. To be a successful innovator today takes hard work, team-work, persistence in the face of obstacles, and the ability to perceive and seize new opportunities. A key tenet of this approach is to closely involve product and manufacturing engineers from the operating units at every stage of research and development.

Technology development today is a team sport. Key players include not only the researcher, but the product engineer, the manufacturing engineer, and the supplier.
With this approach, the development team confronts issues of technical feasibility, market demand, manufacturability, and affordability at the earliest stages of R&D. By addressing these issues early, the chances for technology implementation can grow exponentially, benefiting both the customer and the company's bottom line.
In thinking about those research projects in which I have participated, and that have gone into mass production, I have been able to identify several actions researchers can take that are common to them all. I discuss them briefly in this article.

PARTNERSHIP

1. ESTABLISH PERSONAL CONTACT

Even before you define a project, it is important to have personal contact with people in your company's operating units who are potential R&D customers. Researchers need to go out frequently, meet with people, gain their acceptance, and most importantly, obtain an understanding of their needs and problems.
In establishing these relationships, it is also important to connect with the appropriate level of engineer. You want to be most closely aligned with people who would join you as part of a team working on a project.

2. GET THE TEAM TOGETHER EARLY

As soon as the idea for a particular project has been developed, it is important to get everyone intensely involved as early as possible. This is a crucial period in the life of a project. It is a time during which a team can generate a rich mixture of ideas within a shared context because the team has developed a clear idea of the problem or goal, and what is required to achieve that goal.

Even though communication at the earliest stages of a project is crucial, there are tremendous advantages to having a continual interchange of ideas as development proceeds. First, everyone will feel ownership and take ongoing responsibility for the project. But even more important, contributions from a team that represents all the various "stakeholders" will change and enrich your development.

A researcher tends to concentrate on function, while product and manufacturing engineers will be focused on form as well as function. It is essential to include manufacturing interests early in the life of a project so that you can devise ways to make manufacturing as easy as possible and with the least cost incurred. This is most effectively done as design progresses, rather than later when a final design has already been chosen.

At General Motors, we are fortunate to have a well-defined Vehicle Development Process. This process comprises four phases, with specific tasks and release gates established within each phase of a vehicle program. This enables everyone involved in the process to work with a timeline and development targets that are clearly understood. For GM innovators, this process permits identifying appropriate times for inserting technology into a new vehicle program.

At the very front of this process is what we call a "bubble up" phase. It is at this stage that people can share ideas, and a team can be formed to develop a vision of a new technology concept. If you form a team at this stage, you have a good chance of assembling a strong, well-prepared team with expertise in all the areas required for development.

Establishing a feeling of shared ownership is so critical to successful technology development that I cannot emphasize it enough. But partnership should extend beyond sharing responsibilities. Credit must also be shared with every member of the team. For instance, if the innovation is patentable, you should file it as a team. When you document your research, the team members should collaborate on papers. Most engineers on the operating side do not have many opportunities to contribute to the technical literature. Their co-authorship will enhance the paper and help improve team bonding. This collaboration will often extend beyond the project and lead to future opportunities for cooperation.

COMPETITIVENESS

3. MAKE YOUR PROJECT HIGHLY COMPETITIVE

Because competition is so intense today, you have to make your project highly marketable by always aiming for world- class performance. But if you aim for what is world-class performance today, your development will fail. You have to set your sights on where you

think world-class performance will be when your project matures. For me, in the automotive industry, that target is 3-to-5 years down the road, because that is the time it will take to develop a new system and this is when it will face competition from other technology.
In order to secure your vision of world class, you need to employ or, in some cases develop state-of the-art technology to enrich your concept. In this way, you are virtually guaranteeing that you will be on the frontier of your field and ahead of the competition.
Competition, of course, is both internal and external.
Internal competition is something you have to face every day. For every project there are a number of groups working on different concepts to achieve the desired function and results. Although my primary field of expertise is electromagnetics, I am competing with others who are working with concepts that are based on hydraulics, pneumatics or mechanical systems. This is just a fact of development life. But if your team is set up properly and has clear-cut goals and milestones, then it can win in this first hurdle of competition.
External competition is even less friendly. In my field, the competition from abroad Japan and Europe is fierce and relentless, so it is very important for me to keep abreast of all the latest developments in my areas of expertise.

4. USE THE BEST ANALYTICAL TOOLS AVAILABLE

Another way to stay competitive is to use the best analytical tools to help create, evaluate and improve your system. We are very fortunate today to have a growing body of sophisticated mathematical software and tools with which we can design and optimize a system's structure and even predict its static and dynamic behavior.
It would be foolish not to make use of these tools, especially when you can be sure your competition is utilizing them. With these tools, you are able to move to the prototype-build stage with a concept that has been analytically validated. In my experience, the end result of this approach is a prototype that works like you think it will-not only on a lab bench but also in a real environment.
In my case, this environment is a vehicle, which must behave properly and give good performance in a wide variety of environments and situations. In my business, demonstrating an operating prototype is essential to a project's success; it is the sales device with which the team sells its product to the operating division.

5. PAY ATTENTION TO MANUFACTURABILITY

Another crucial selling point is manufacturability To gain acceptance, a system has to be simple, robust and easy to manufacture at a good price. But remember, simplicity does not have to extend to your concept. This can be quite sophisticated from the scientific point of view.
The Magnasteer system is a case in point. This is a variable-effort steering system that made its debut on GM's 1994 Oldsmobile Aurora and Buick Riviera. Magnasteer is based on

a concept that is advanced technologically but also quite simple to manufacture. This didn't come about without a lot of effort. The heart of the system is a rotary actuator, which initially had 17 parts. In the course of development, we were able to reduce that number to three essential parts. This is quite an improvement, which we achieved using newly developed, state-of the-art technologies in conjunction with the team process.

PERSISTENCE

6. STAY WITH YOUR PROJECT

I would encourage every researcher who wishes to see his or her technology development in mass production to follow their operating partner's timelines very closely In the research environment, we have a newly acquired appreciation of the pressures and tensions that are part of the everyday lives of product and manufacturing engineers. As researchers far removed from the rough-and-tumble of the manufacturing world, we didn't alwaysunderstand that if we failed to meet the deadline, the project could be moved from the front to the back burner, or worse yet, canceled.

People in operations have very little time-almost none-to deal with research issues that arise as development progresses. It is up to the researcher to follow the project very closely, watching the timeline and providing research support as the project is being implemented.

Here are ways in which the researcher can support teammembers who are involved in operations and manufacturing: Defend your project against competition. You can expect it to be challenged at every stage of development, not only at the concept stage but all the way from concept development to start of production.

Resolve problems in a timely fashion in all phases. From concept to production, the researcher should help the manufacturing people achieve the highest possible yield. This is vital to ensuring the system's financial success. The finest, most advanced, technology in the world won't be deemed a success if it is too costly, and manufacturing is a big part of the cost.

Because a new development implies new technology, your operations partners probably won't have the expertise to overcome all the technical obstacles that arise. They are devoting most of their effort to moving up the learning curve in order to achieve a high manufacturing yield. The researcher, meanwhile, has those very good analytical tools when dificulties arise. He or she may also possess superior knowledge of the system's behavior. To assist manufacturing development, the researcher can support the project by doing parametric studies to evaluate different processing scenarios, conditions or materials.

7. BE FLEXIBLE

Elexibility is an important attribute of a successful development team. Here I would like to differentiate between persistence and stubbornness. A prudent, persistent team will try to foresee and then avoid obstacles and roadblocks as their project progresses. But a team that I

would characterize as stubborn will attempt to directly challenge and overcome obstacles. I believe persistence is very desirable, but stubbornness tends to be counterproductive. We all know what happens when you push against a wall. Either you break through, or your project fails. That's why I believe flexibility is so important in technology development, although sometimes it seems to cause delay It improves the chances of success.

When we first developed the Magnasteer project, for example, we had several competing concepts for the rotary actuator. We started with a disc design, but this design gave us a problem in terms of manufacturing tolerances. Then we switched to a claw pole design with state-of the-art powder metal technology. This solution proved too costly Finally, we combined elements of both types of design and developed a cylindrical rotary actuator. We didn't try to force our first design, or our second. Instead we were very flexible, and continued to try new approaches. The payoff was an optimal design that could be manufactured easily.

TECHNICAL GROWTH

8. EXPAND YOUR AREA OF EXPERTISE

This is one of the most critical factors in improving your probability of success. We are fortunate at GM to be able to devote some time to "homework" before we actually gear up to do a project. I encourage everyone to do this because it really pays off as technical issues arise in the course of development. Devote some time to exploring new areas, and review the literature and existing patents so you understand the current state-of-the-art. Only at this point, can you reasonably expect to build your own vision of a world-class system.

When I first came to General Motors, I worked on stepper motors. Then I switched to fast-acting fuel injectors; next, I moved on to sensors, both solid-state and variable reluctance. My next area was rotary actuators, and most recently latching solenoids. Each time I moved to a new area I was the "new kid on the block " but I was able to enhance my "value" as I progressed in each area by drawing upon my previous experiences, but always using my underlying expertise in electromagnetics as the foundation.

The nice thing about the "homework" period is that you can investigate several potential projects at once. When one begins to show more promise that the others, you can then narrow your focus to the one with the greatest potential.

9. DON 'T BE AFRAID TO PUT YOUR CREDIBILITY ON THE LINE

You can't expect an operating division, and especially those within it who oversee its financial apparatus, to invest millions of dollars in your development unless you can convince them that you thoroughly believe in it yourself. If you have a team that has put everything they can into a new system or technology, you will not be afraid to put your credibility on the line-and even stake your reputation on it. The key characteristic of a strong team is confidence. This is something that is essential, if you hope to move from development to production.

THE BOTTOM LINE

I have outlined some of the actions that have allowed development teams on which I participated to move a technology development to mass production. But the key point behind all these actions is this: You can't ignore the all-important bottom line. To make an impact there, you need a committed team that is competitive, persistent, and believes in the value of technical growth. I have no doubt that if your team has all these elements, you will be quite successful at developing and implementing new technology with your customers.